



一般社団法人

国際建造物保全技術協会

『建造物の保全技術について』

1. 社会資本・維持管理について



1. 社会資本・維持管理について
2. 法令・安全衛生
- 3-1. 橋梁定期点検要領
- 3-2. 道路トンネル定期点検要領
4. コンクリートに関する基礎知識
5. 構造物の点検技術, 点検方法
6. トンネル
7. 補修・補強工法
8. 事例

これからの社会資本整備、維持管理の在り方

フロー経済（フロー型社会）

- 高度成長、大量生産、使い捨て、環境破壊、資源枯渇
- 資源（予算）の投入を指向
- 事後保全

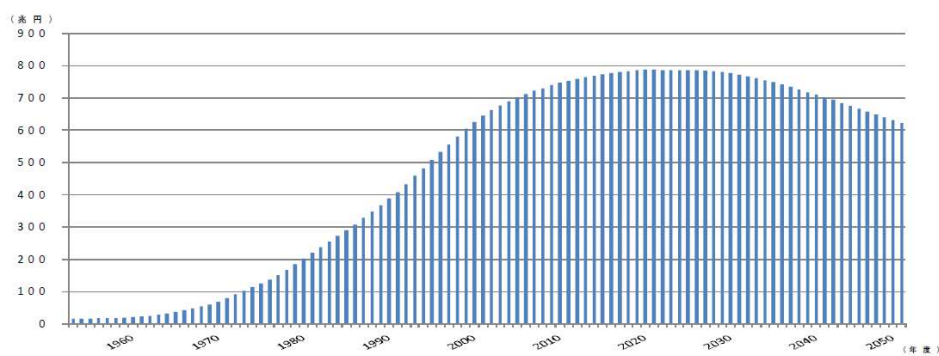


ストック経済（ストック型社会）

- 安定成長、適正生産、使い回し、環境保全、資源循環
- 少ない（カネ、モノ等の）フローで国民のニーズを充足
 - ☞ 既施設の保全工事費は許容され、増大する傾向
 - ▣ 維持管理 (Maintenance) ▣ 修繕・補修 (Repair)
 - ▣ 改修 (Rehabilitation) ▣ 改良 (Retrofit)
 - ▣ 更新 (Replacement)
- 予防保全

2

増加する維持更新需要



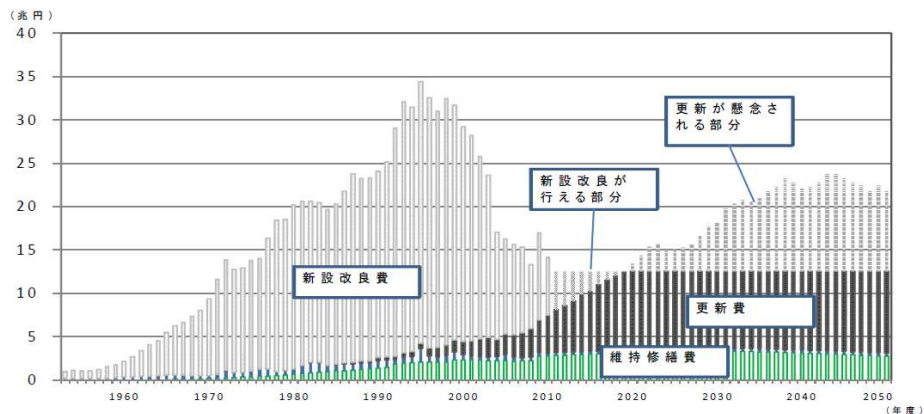
出典 (財)建設経済研究所、「日本経済と公共投資」
No.55、平成22年10月

社会資本15分野のストック量の推計

社会資本15分野：道路、港湾、空港、鉄道、地下鉄、公共賃貸住宅、下水道、水道、都市公園、文教施設、治水、治山、海岸、農林水産、工業用水道のストック量は、2010年度現在において約750兆円と推計される

3

増加する維持更新需要



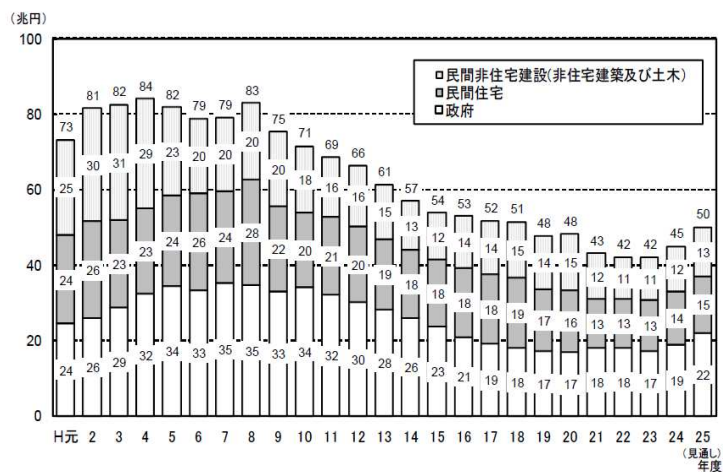
出典 (財)建設経済研究所、「日本経済と公共投資」
No.55、平成22年10月

社会資本15分野の維持修繕、更新費の推計

経常的支出としての維持修繕費は年間2〜3兆円程度、更新費は年間20兆円程度発生すると想定される。

4

建設投資



出典 国土交通省総合政策局、平成25年度建設投資見通し、平成25年6月

建設投資額(名目)の推移

5

社会資本の維持管理・更新費

1. 社会資本老朽化の進行

- ▶ 我が国では、高度経済成長期に社会資本が集中的に整備され、これらのストックは、建設後既に30～50年の期間を経過していることから、今後急速に老朽化が進行すると想定される。

2. 維持管理・更新費の増加

- ▶ 今後の投資総額の伸びが2010年度以降対前年度比±0%で、維持管理・更新に従来どおりの費用の支出を継続すると仮定すると、2011年度から2060年度までの50年間に必要な更新費（約190兆円）のうち、約30兆円（全体必要額の約6%）の更新ができない。

3. 長寿命化等による効率化

- ▶ 「事後保全」の考え方を基本とする試算を行い、「予防保全」の考え方を基本とする推計との比較を行うと、「平成30年度推計」では、「事後保全」によるメンテナンスを「予防保全」に切り替えることにより5～20年後で維持管理・更新費が約30%減少し、30年後には約50%減少するとの効果が示された。

6

リスクアセスメント（1/3）

1. リスクアセスメントとは

- ▶ リスクアセスメントは、職場の潜在的な危険性又は有害性を見つけ出し、これを除去、低減するため手法です。

2. なぜリスクアセスメントが必要か

- ▶ 従来の労働災害防止対策は、発生した労働災害の原因を調査し、類似災害の再発防止対策を確立し、各職場に徹底していくという手法が基本でした。
- ▶ しかし、技術の進展等により、多種多様な機械設備や化学物質等が生産現場で用いられるようになり、その危険性や有害性が多様化してきました。
- ▶ これからの安全衛生対策は、自主的に職場の潜在的な危険性や有害性を見つけ出し、事前に的確な対策を講ずることが不可欠であり、これに応えたのがリスクアセスメントです。

7

リスクアセスメント (2/3)

3. リスクアセスメントの手順

- STEP 1 : 危険性又は有害性の特定
作業に潜む危険性又は有害性の洗い出し
- STEP 2 : リスクの見積り
重大性(重篤度) × 発生する可能性
- STEP 3 : リスク低減対策内容の検討
①回避 ②低減 ③保有 ④移転
- STEP 4 : リスク低減対策の実施
- STEP 5 : 実施内容の記録
実施の証とするとともに、後々に活用

8

リスクアセスメント (3/3)

4. リスク低減対策

- ▶ リスクの高いものから優先的に検討を行う。
- ▶ 安全衛生対策の優先順位は以下のとおり。
 - ①本質的対策 : 危険作業の除去または見直し
 - ②工学的対策 : 防護板・局所排気装置等の設備的対策
 - ③管理的対策 : 教育訓練・作業管理等の管理的対策
 - ④個人用保護使用 : 保護手袋など個人用保護具の使用

9

2. 法令・安全衛生



1. 社会資本・維持管理について
2. 法令・安全衛生
- 3-1. 橋梁定期点検要領
- 3-2. 道路トンネル定期点検要領
4. コンクリートに関する基礎知識
5. 構造物の点検技術, 点検方法
6. トンネル
7. 補修・補強工法
8. 事例

10

1. 内容



- 法令について
- 労働災害について
- 傷害と応急処置
- 安全衛生マネジメント
- 海外における安全衛生の一例

11

2. 守ってください！



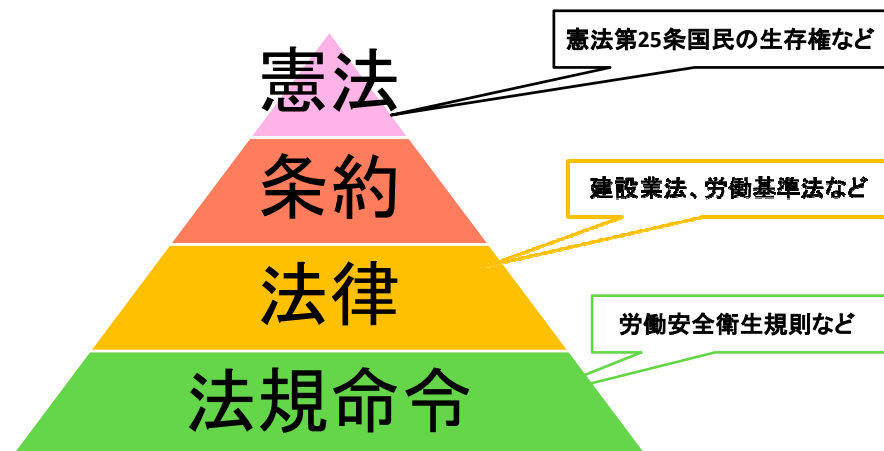
- 法令は守らなければなりません！
- 守れないと感じたら見直しを提案してください
- 関係者全員が安全に作業を終えるための相互協力を忘れずに！

12

3. 法令について



法令の形式的効力の強い順に並べると



13

4.設設・建築に関連する法令の分類(その1)



①基本的な法令

代表例:建設業法、建築基準法

関連事項:管理技術者、建築士など

②安全に関する法令

代表例:労働基準法、労働安全衛生法

関連事項:労働安全コンサルタント、衛生管理者、
技能講習など

③適切に作業を行うための法令

代表例:道路交通法、浄化槽法

関連事項:普通自動車運転免、許浄化槽整備士、
浄化槽管理士など

14

設設・建築に関連する法令の分類(その2)



④環境保全を目的とした法令

代表例:騒音規制法、振動規制法

関連事項:公害防止管理者、環境計量士など

⑤資源に着目した法令

代表例:建設工事に係る資材の再資源化等に関する
法律(リサイクル法)

⑥契約に関連する法律

代表例:公共工事の入札及び契約の適正化の促進に
関する法律

公共工事の前払金保証事業に関する法律

15

5.各法律の主な内容(その1)



① 建設業法

- 主任技術者・監理技術者の設置 など

② 労働基準法

- 30日前解雇予告
- 年少者危険有害業務制限
- 年少者深夜業務制限
- 労働時間-時間制限
- 労働時間-休憩
- 労働契約-労働条件の明示 など

16

各法律の主な内容(その2)



③ 労働安全衛生法

- 作業主任者選任
- 計画の届出
- 特別教育が必要な業務 など

④ 公共工事の入札及び契約の適正化の促進に関する法律

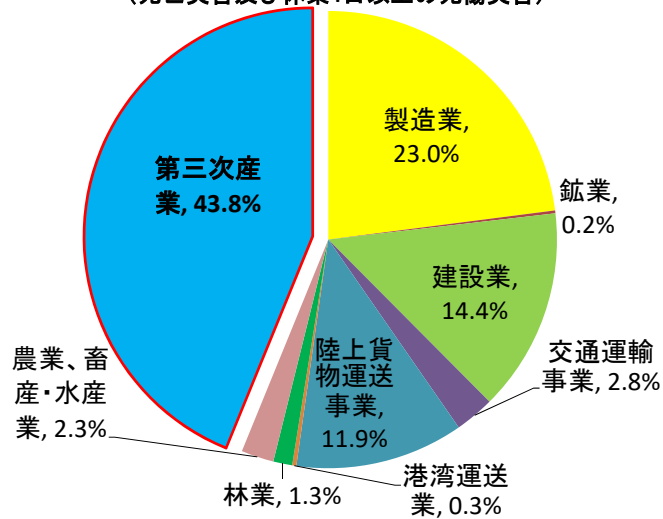
- 監督員の確認を求めなければならない事項
- 一括下請負の禁止
- 工事材料の品質等に関する問題 など

17

6.労働災害(その1)



平成26年における死傷災害発生状況
(死亡災害及び休業4日以上之死傷災害)

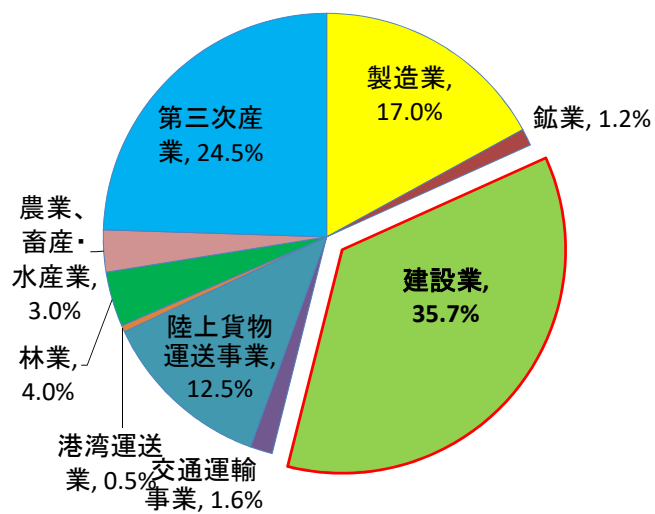


18

労働災害(その2)



平成26年における死亡災害発生状況



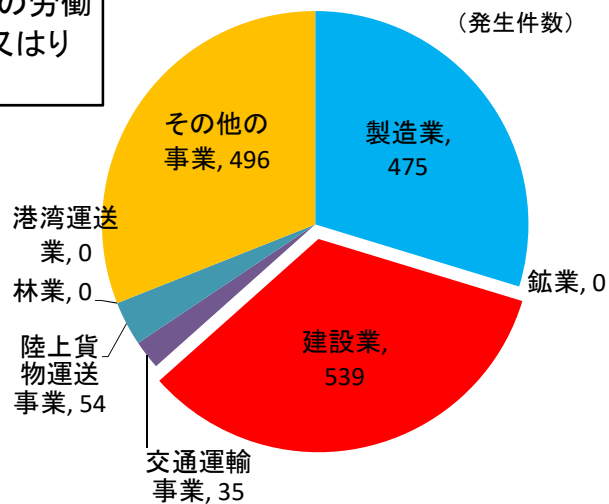
19

労働災害(その3)



※重大災害とは、不休も含む一時に3人以上の労働者が業務上死傷又はり病した災害

重大災害発生状況(平成26年度)

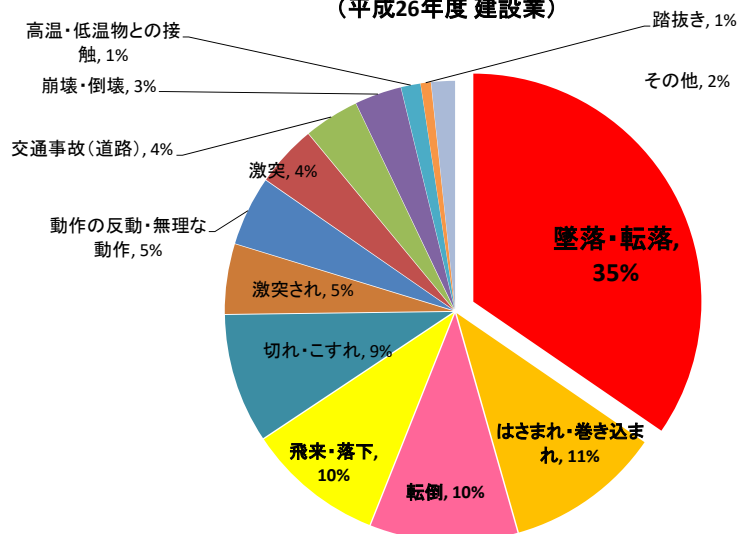


20

労働災害(その4)



事故の型別死傷災害発生状況
(平成26年度 建設業)



21

労働災害(その5)



【死亡災害及び休業4日以上之死傷災害】では**第三次産業がワースト1**だが、【平成26年における死亡災害発生状況、重大災害発生状況】では**建設業がワースト1**

- ➡ 建設業の労働災害は発生した場合に死亡につながる率が高い(一撃)!
- ➡ 大きな一撃は墜落・転落で全体の35%を占めている!

22

労働災害(その6)



★ 墜落、転落の違い

安全衛生では2m以上からの作業者が落下することを墜落、2m未満であれば転落

★ 2m以上の高さでの作業を高所作業

★ 安全作業のための方策

- ✔ 高所作業車の使用、作業構台、作業床の設置(単管、枠組み足場など)、移動はしごの使用、脚立の使用

23

労働災害(その7)



- ✓ 2m以上で墜落の危険のある時には作業床を設置と安全帯取付設備の設置
- ✓ 高さ2m以上の作業床の端部、開口部には墜落防止設備を設置する
- ✓ 1.5mを超える昇降箇所には昇降設備を設置する

24

労働災害(その8)



調査・点検や軽微な補修作業では”少しだから”や”すぐ終わるから”という気持ちが働き、高所作業に対する認識が低くなりがち！

- ➡ 安全衛生上は、一般の建設業における高所作業と変わりありません！
- ➡ 今回は墜落に着目しましたが、これは労働災害の氷山の一角に過ぎません！

25

労働災害の発生状況を評価する指標

▶ 年千人率

在籍労働者千人あたり、年間でどのくらい死傷者が発生しているかという割合

$$(\text{年間死傷者数}) \div (\text{年間平均労働者数}) \times 1,000$$

▶ 強度率

1,000延実労働時間当たりの労働損失日数で、災害の重さの程度を表す

$$(\text{延労働損失日数}) \div (\text{延実労働時間数}) \times 1,000$$

注：延労働損失日数は、労働災害によって働けなくなった日数

死亡及び永久全労働不能の場合は7,500日、永久一部労働不能となる場合は、5,500日（4級）～50日（14級）、

障害等級の障害が残ることなく治癒した場合は暦日の休業日数 $\times 300 \div 365$ 日

▶ 度数率

100万延実労働時間当たりの労働災害による死傷者数で、災害発生の頻度を表す

$$(\text{死傷者数}) \div (\text{延実労働時間数}) \times 1,000,000$$

注：同一人が2回以上被災した場合、死傷者数はその被災回数として算出

26

労働災害（その9）



【労働安全衛生規則に定められた鋼管規格に適合する鋼管足場の安全性】

- 一 縦地の間隔は、けた行き方向を1.85m以下、はり間方向は1.5m以下とすること
- 二 地上第一の布は、2m以下の位置に設けること。
- 三 建地の最後部から測って31mを超える部分の建地は、鋼管を2本組とすること。
- 四 建地間の積載荷重は400キログラムを限度とする。
- 五 最上層及び5層以内ごとに水平材を設けること。
- 六 はりわく及び持送りわくは、水平筋かいその他によって横振れを防止する措置を講ずること。
- 七 高さ20メートルを超えるとき及び重量物の積載を伴う作業を行うときは、使用する主わくは、高さ2m以下のものとし、かつ、主わく間の間隔は1.85m以下とすること。

27

7.障害と応急処置



負傷や中毒には様々なタイプがあり、場合によっては重症・死亡に至るケースもある！

- ✓中毒の代表として“酸 欠”
- ✓負傷の代表として“火 傷”
- ✓疾病の代表として“熱中症”

この3つは身近で起きやすい！

28

酸素欠乏(酸欠1)



酸欠とは、空気中の酸素濃度が18%未満である状態や、硫化水素の濃度が10ppmを超える状態を示す！

酸欠の症状

あくび、頭痛、だるさ、めまい、吐き気、息切れ、動悸、集中力の低下、眠気、筋力低下、顔面蒼白、チアノーゼ、嘔吐、意識消失、昏睡、けいれん、呼吸停止

- 酸欠は有害業務特別法規に指定されている！ -

29

酸素欠乏(酸欠2)



酸欠に注意する場所！

井戸、ずい道、暗渠、海水の滞留歴のあるピットなど、汚水などの貯蔵歴のあるタンクなど、長期間密閉されていた鋼製のタンクなど、酒などを貯留していた醸造槽など

空気の流れの悪い場所や、長期間に渡り密閉状態にあった箇所は要注意！

30

酸素欠乏(酸欠3)



酸欠則3条に基づき、酸素欠乏危険場所において作業を行う場合の当該作業場で作業を行う場合は、**作業開始前等**ごとに以下の項目を測定し、3年間保管する。

- ①第1種酸素欠乏危険作業に係る作業場にあつては、空气中の酸素の濃度
- ②第2種酸素欠乏危険作業に係る作業場にあつては、空气中の酸素および硫化水素の濃度

第1種酸素欠乏危険作業、第2種酸素欠乏危険作業に区分されている！

31

酸素欠乏(酸欠4)



応急処置

- まずは、自分の安全確認！
- 人と呼ぶ！
- 心肺蘇生を行う(人工呼吸、胸骨圧迫)
- AEDの積極的利用！

事前調査と防護対策が何よりも大切！

32

火 傷(その1)



火傷はその面積により、局所性火傷と全身性火傷に部類される！

● 全身性火傷

成人では体表面積の1/5～1/3以上が被害を受けると危険となり、1/2以上になると死亡に至る危険性が高い。いずれの場合でもショック状態に陥りやすいことに注意する！

33

火 傷(その2)



● 局所性火傷

局所性火傷は、その規模(深さ)によってⅠ～Ⅲに部類される。

- ① Ⅰ度: 火傷した部位が赤くなり、ヒリヒリと痛む程度の症状
- ② Ⅱ度: 火傷した部位に水泡ができる
- ③ Ⅲ度: 火傷した部位の細胞が壊死しており、激しい痛みを伴う

34

火 傷(その3)



火傷の応急処置

- ✓ 冷やす(冷やし過ぎには注意する)
- ✓ 水泡は破ってはいけない
- ✓ 患部を清潔に保つ
- ✓ シャツなどの衣類はその部位を切り取る
- ✓ 直ぐに薬品を塗ったりしない

35

熱中症(その1)



熱中症の種類と主な症状

	原因	症状
日射病	炎天下で長時間直射日光を受けたり、大量の発汗によって脱水状態になり、一時的に循環血液量が不足して起こる。	めまい・顔面蒼白 一過性の失神
熱痙攣	高温下で激しい労働や運動をしたときに、大量の汗をかいたうえ、塩分補給をしないで水分だけを補給していると起こりやすい。	酷使した筋肉に痛みを伴った痙攣
熱疲労	高温下での運動時に、大量の発汗によって起こる。脱水とともに体内に熱がこもるのが原因。水分補給をしないでいても起こる。熱射病の前段階ともいえ、すぐに医師の診察が必要。	強い口の渇き・倦怠感・強い疲労感・頭痛・めまい・興奮・高体温・昏睡
熱射病	熱疲労が重症化し、異常に体温が上昇する。発汗が止まり皮膚は乾燥する。体内で血液が凝固し、全身の臓器に障害が起こる。死に至ることもある危険な状態。	40℃以上の高体温・発汗停止・頻脈・血圧上昇・中枢神経障害・多臓器不全・昏睡

36

熱中症(その2)



熱中症の応急処置

- ①熱痙攣: 涼しいところで安静にさせ、0.9%程度の食塩水を飲ませて、塩分補給を行う。
- ②熱射病(日射病):
 - ・氷水に体を浸すなど、急激に体温を下げる
 - ・食塩水を飲ませて塩分と水分を補給する
 - ・衣服を緩め、風通しを良くする
- ③熱虚脱: 涼しい場所で、頭を低くした姿勢で安静にさる

37

熱 中 症

1.熱中症とは

- ▶ 熱中症とは、高温多湿な環境下において、体内の水分・塩分のバランスが崩れたり、体内の調整機能が破綻するなどして発症する障害の総称。

2.熱中症の症状

- ▶ (軽度) 熱失神 → 熱痙攣 → 熱疲労 → 熱射病 (重度)
- ▶ I 度： 現場での応急処置で対応できる軽症
- ▶ II 度： 病院への搬送を必要とする中等症
- ▶ III 度： 入院して集中治療の必要性のある重症

3.暑さ指数(WBGT)とは

- ▶ 熱中症を予防することを目的として1954年にアメリカで提案された指標
- ▶ 人体の熱収支に影響の大きい湿度、輻射熱、気温、気流の4つを取り入れた指標
- ▶ 乾球温度、湿球温度（自然湿球温度）、黒球温度の値を使って計算

38

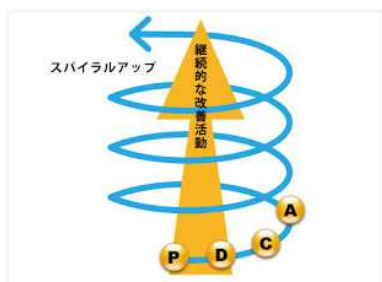
8.安全衛生マネジメント



➤ 国際的な基準としてILO (国際労働機関)

★日本国内では以下の3つがある！

- 労働安全衛生マネジメントシステム(OHHMS)
- 建設業労働安全衛生マネジメントシステム(コスモス(COHSMS))
- 労働安全衛生マネジメント(OHSAS)



安全衛生マネジメントに決まりはない！

計画(Plan)－実施(Do)－
評価(Check)－改善(Act)
を全員参加で取り組む！

39

9.海外における安全衛生管理(参考)



海外(ベトナム、シンガポール、インドネシア)における安全衛生管理(参考事例)

【海外における建設業の安全衛生管理】抜粋
(建設業労働災害防止協会)

以下の項目について整理した

- ①建設人口/全人口
- ②厚生労働省・労働基準監督署に相当する行政組織
- ③日本の法令、規則、条例等に相当するもの
- ④元請と下請の責任範囲について

40

ベトナムの安全衛生管理(参考)



項 目	内 容
①人口(建設/全人口)	2,693千人/47,744千人(5.6%)(2009年)
②担当機関	①労働傷病兵社会省(MOLISA) ②保健省(MOH) ③科学技術環境省(MOSTE) ④ベトナム労働総連合(VGCL) ⑤建設省(MOC)
③法令など	①「労働法」(1994年6月23日公布、1995年5月施行) ②「労働法の労働安全衛生に関する詳細規定(1995年1月20日付政令第6号)」等 ③建設工事の安全管理の基準となる基本法令は、労働法(労働安全衛生)及び建設法(技術的安全)
④責任範囲	元請と下請の責任範囲法令上、明確な規定はない

41

シンガポールの安全衛生管理(参考)



項 目	内 容
①人口(建設/全人口)	360 千人 /2,952,4人千人 (1.2%) (2008年)
②担当機関	人材開発省(MOM)の中の労働安全衛生局(OSHD)
③法令など	労働安全衛生法 (2006年3月1日に工場法に代わって施行)
④責任範囲	元請と下請の責任範囲について、法律等で定める元請の責任事故は基本的には元請責任。下請作業員個人の不安全行為に起因する場合には下請責任。安全に関する管理義務は当然元請にある。ただし、法的根拠等は不明

42

インドの安全衛生管理(参考)



項 目	内 容
①人口(建設/全人口)	610万人 /1億2041万人 (5.1%) (2012年)
②担当機関	労働・移住省(DMT)労働監督総局(労働監督総局に労働安全監督局と労働衛生監督局があり、労働安全衛生を担当している)
③法令など	①労働者に係る基本的事項に関する法律 (1969年法律第14号) ②労働安全衛生に関する法律 (1970年法律第1号) ③労働者社会補償法 (1992年労働者法律第3号)
④責任範囲	元請と下請の責任範囲について、法律等で定める元請の責任は定められていない

43

目 標！



- 本協会の有資格者が関係する現場では、墜落・転落事故ゼロ達成とその更新に努めましょう！
- 本協会の有資格者が関連する現場では、災害時に冷静な行動と判断を行い、適切な応急処置と二次災害防止に努めましょう！

44

3-1. 橋梁定期点検要領



1. 社会資本・維持管理について
2. 法令・安全衛生
- 3-1. 橋梁定期点検要領
- 3-2. 道路トンネル定期点検要領
4. コンクリートに関する基礎知識
5. 構造物の点検技術, 点検方法
6. トンネル
7. 補修・補強工法
8. 事例

45

維持修繕に関する省令・告示



道路の維持・修繕に関する具体的な基準等を定めるため、「道路法施行規則の一部を改正する省令」及び「トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示」を平成26年3月31日に公布

省令

○道路法施行規則(昭和二十七年建設省令第二十五号)(一部改訂:平成31年4月1日)

(道路の維持又は修繕に関する技術的基準等)

第四条の五の二 令第三十五条の二第二項の国土交通省令で定める道路の維持又は修繕に関する技術的基準その他必要な事項は、次のとおりとする。

- 一 トンネル、橋その他道路を構成する施設若しくは工作物又は道路の附属物のうち、損傷、腐食その他の劣化その他の異状が生じた場合に道路の構造又は交通に大きな支障を及ぼすおそれがあるもの(以下この条において「トンネル等」という。)の点検は、トンネル等の点検を適正に行うために必要な知識及び技能を有する者が行うこととし、**近接目視により、五年に一回の頻度で行うことを基本とすること。**
- 二 前号の点検を行つたときは、当該トンネル等について健全性の診断を行い、その結果を国土交通大臣が定めるところにより分類すること。
- 三 第一号の点検及び前号の診断の結果並びにトンネル等について令三十五条の二第一項第三号の措置を講じたときは、**その内容を記録し、当該トンネル等が利用されている期間中は、これを保存すること。**

46

維持修繕に関する省令・告示



告示

○ トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示(平成二十六年国土交通省告示第四百二十六号)

トンネル等の健全性の診断結果については、次の表に掲げるトンネル等の状態に応じ、次の表に掲げる4つの区分に分類すること。

区分		状態
I	健全	構造物の機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

※施行:平成26年7月1日

47

橋梁定期点検要領



橋 梁 定 期 点 検 要 領

平成31年3月
国土交通省 道路局 国道・技術課

●道路橋定期点検要領 ・・・道路法上の道路

道路法(昭和27年法律第180号)第2条第1項に規定する道路における橋長2.0m以上の橋、高架の道路等の定期点検に適用。

●橋梁定期点検要領 ・・・直轄国道を対象

道路法の道路における橋長2.0m以上の橋、高架の道路等のうち、国土交通省及び内閣府沖縄総合事務局が管理する道路橋の定期点検に適用。

48

橋梁定期点検要領



●道路橋定期点検要領 ●橋梁定期点検要領

平成26年7月の施行から5年にわたり近接目視を基本とした橋梁点検の一巡目が終了し、二巡目の橋梁点検が始まるのに際し、1巡目の橋梁定期点検のデータの蓄積や課題を反映し、平成31年3月にアップデートした定期点検要領が新たに示された。

本文は法令(省令や告示に拠る)として遵守しなければならない部分、付録は実際運用に即した技術的注意点、参考資料は個別分野の資料という様に階層化。

前回の要領は、技術的助言とは言えモデル要領とも言えるものであったが、今回の要領では、各管理者が、法令を満足できるような定期点検を行うにあたり、自由度を有する部分とそうでない部分を明確にした。

新しい技術の活用が進むこと、管理者の実情に応じた記録作業内容になる要領を作成し易くなることが狙いである。

49

目次



- 1. 適用の範囲
 - 2. 定期点検の目的
 - 3. 定期点検の頻度
 - 4. 定期点検計画
 - 4.1 定期点検計画の作成
 - 4.2 定期点検体制
 - 4.3 安全対策
 - 5. 状態の把握
 - 6. 対策区分の判定
 - 6.1 判定区分
 - 6.2 補修等の必要性の判定
 - 6.3 緊急対応の必要性の判定
 - 6.4 維持工事で対応する必要性の判定
 - 6.5 詳細調査又は追跡調査の必要性の判定
 - 7. 健全性の診断
 - 7.1 部材単位の診断
 - 7.2 道路橋毎の診断
 - 8. 定期点検結果の記録
 - 8.1 健全性の診断の記録
 - 8.2 損傷程度の評価と変状の記録
- 点検調書**
- 付録－1 対策区分判定要領
 - 付録－2 損傷程度の評価要領
 - 付録－3 定期点検結果の記入要領

50

1. 適用の範囲



本要領は、道路法の道路における橋長2.0m 以上の橋、高架の道路等(以下「道路橋」という。)のうち、国土交通省及び内閣府沖縄総合事務局が管理する道路橋の定期点検に適用する。

51

2. 定期点検の目的

○ 定期点検は、道路利用者や第三者への被害の回避、落橋など長期にわたる機能不全の回避、長寿命化への時宜を得た対応などの橋梁に係る維持管理を適切に行うために必要な情報を得ることを目的に実施する。

○ 定期点検では、近接目視を基本とした状態の把握と次回定期点検までの措置方針の参考とするための対策区分の判定を行う。また、省令や告示で求められる道路橋毎の健全性の診断、並びに、その参考にするための部材単位の健全性の診断を行う。さらに、将来の維持管理の参考となり、かつ将来に向けた維持管理計画の策定や見直しに用いるため、損傷程度の評価、外観性状の記録を行う。

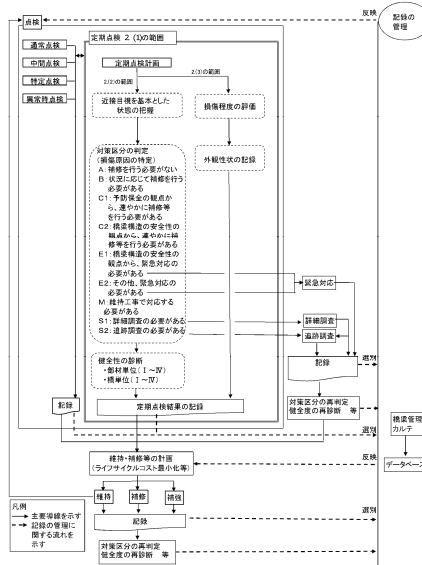


図-2. 1 定期点検に関連する維持管理フロー

点検の種類

点検の種類	点検の内容
(1) 通常点検	突発的に生じる不具合や損傷を早期に発見するために、高い頻度で行われる点検である。
(2) 定期点検	橋梁の損傷状況の把握及び健全性の診断をあらかじめ頻度を定めて計画的に実施する詳細な点検である。
(3) 中間点検	中間点検は、定期点検を補うために、定期点検の中間年に実施するもので定期点検時に、次回の定期点検まで待たずに途中で状態確認を行うことが必要と判断された場合に計画される。
(4) 特定点検	特定点検は、塩害やアルカリ骨材反応、鋼部材の疲労等の定期点検のみでは適切かつ十分な評価が困難な特定の事象に対して、定期点検とは別にそれぞれの事象に特化した内容によって行われる点検である。
(5) 異常時点検	地震、台風、集中豪雨、豪雪等の災害や大きな事故が発生した場合などに、橋梁の状態を確認するために臨時で行われる点検である。

3. 定期点検の頻度



定期点検は、供用開始後2年以内に初回を行い、2回目以降は、**5年に1回の頻度で行うことを基本**とする。

1. 定期点検の初回(初回点検)は、橋梁完成時点では必ずしも顕在化しない不良箇所など橋梁の初期損傷を早期に発見することと、橋梁の初期状態を把握してその後の損傷の進展過程を明らかにすることを目的としている。

2. 既設橋梁であっても、拡幅などの大規模な改築あるいは連続化など橋梁構造に大きな変更を伴うような工事が行われた場合には、所定の点検頻度によることなく、2年以内に初回点検を計画するのがよい。

3. 定期点検は、道路橋の最新の状態を把握するとともに、次回の定期点検までに必要な措置等の判断を行う上で必要な情報を得るために行う。

橋梁の環境条件、供用年数、材質、構造形式、交通量等により損傷の発生状況は異なるため、各種点検結果や道路橋の架設状況によっては5年より短い間隔で点検することを妨げるものではない。

54

4. 定期点検計画



4. 1 定期点検計画の作成

定期点検の実施にあたっては、当該橋梁の状況等に応じて適切な定期点検が実施できるよう、点検計画を作成する。

定期点検を効率的かつ適切に行うためには、事前に十分な点検計画を作成する必要がある。

定期点検計画とは、点検作業に着手するための、既往資料の調査、点検項目と方法、点検体制、現地踏査、管理者協議、安全対策、緊急連絡体制、緊急対応の必要性等の連絡体制及び工程など定期点検に係る全ての計画をいう。

- | | |
|----------|-----------------|
| ①既往資料の調査 | ②定期点検項目と方法 |
| ③定期点検体制 | ④現地踏査 |
| ⑤管理者協議 | ⑥安全対策 |
| ⑦緊急連絡体制 | ⑧緊急対応の必要性等の連絡体制 |
| ⑨工程 | |

55

4.2 定期点検体制



定期点検のうち、対策区分の判定及び健全性の診断や関連する所見の提示、及び、このために必要な状態の把握は、これらの一連を適正に行うために必要な、橋梁に関する知識及び技能を有する者が行わなければならない。

この他に定期点検要領が求める損傷程度の評価等の変状の記録、この他定期点検を適正に行うために必要とされる作業や安全管理などについても、それぞれの記録、作業、安全管理等に適正な能力を有するものが行わなければならない。定期点検は、これを適正に行うために必要な橋梁に関する知識及び技能を有する者が行わなければならない。

定期点検業務に携わる橋梁診断員として必要な要件の標準は、次のとおり。

〔橋梁診断員〕

定期点検における一連の行為である現地における近接目視、触診や打音による状態の把握、並びに診断所見の提示、対策区分の判定、及び健全性の診断(本要領1～7)を遂行する知識と技能を有し、これらを遂行し、また、本要領8の記録の方法を計画し、かつその確認を行う者。

健全性の診断の品質を確保するために必要な要件

- ・道路橋やその維持管理等に関する必要な知識や経験を有するもの
- ・道路橋に関する相応の資格等を保有するもの
- ・定期点検に関する技能を有したもの

56

4.2 定期点検体制



橋梁診断員が行う対策区分の判定や健全性の診断は、道路管理者による最終判断ではなく、あくまでも橋梁診断員が得た情報から行う一次的な評価としての所見である。対策区分の判定や健全性の診断に関する最終判断、すなわち措置の意思決定は、別途、道路管理者が行わなければならない。

また、この定期点検では、将来の維持管理の参考となり、かつ維持管理計画の策定や見直しに用いるため、外観性状の記録を行う。外観性状の記録は、再現性が重要であり、状態の変化をできるだけ正確に把握できるような損傷図を作成したり、客観的な指標である損傷程度を要素単位で記録したりなどしている。これらの外観性状の記録については、橋梁診断員が従事することが効率的であるとは限らない一方で、客観性が確保でき、定期点検間での橋の状態の変化ができるだけ客観的に把握するために必要な知識と技能を有したものが従事する必要がある。

複数の視点・目的から橋の状態の把握を行うことで定期点検の品質の向上が図られると考えられること、適材適所による支援技術の活用や調達の観点から、現状では、橋梁診断員と損傷程度の評価等の外観性状の記録を行う者は、効率的に所要の品質が得られる定期点検が実施されるように適宜協力する一方で、それぞれ独立して状態を把握し、それぞれの目的を達するような体制となるようにする。

57

4. 3 安全対策



定期点検は、道路交通、第三者及び点検に従事する者に対して適切な安全対策を実施して行わなければならない。

定期点検は供用下で行うことが多いことから、道路交通、第三者及び定期点検に従事する者の安全確保を第一に、労働基準法、労働安全衛生法その他関連法規を遵守するとともに、現地の状況を踏まえた適切な安全対策について、点検計画に盛り込む。

主な留意事項

- ・高さ2m 以上で作業を行う場合、点検に従事する者は必ず安全帯を使用する。
- ・足場、橋梁検査路、手摺、ヘルメット、安全帯の点検を始業前に必ず行う。
- ・足場、通路等は常に整理整頓し、安全通路の確保に努める。
- ・道路あるいは通路上での作業には、必ず安全チョッキを着用し、必要に応じて交通誘導員を配置し、作業区域への第三者の立ち入りを防止する。
- ・高所作業では、用具等を落下させないようにストラップ等で結ぶ等、十分注意する。
- ・密閉場所で作業する場合は、酸欠状態等を調査の上、実施する。

点検時は、通常、橋面あるいは桁下等に自動車交通や列車交通があることから、「道路工事保安施設設置基準(案)」に基づき、これらに十分留意し、安全を確保して作業を行う。⁵⁸

5. 状態の把握



橋梁診断員は、対象橋梁毎に対策区分の判定や健全性の診断にあたって必要な情報が得られるよう、部位、部材に応じて、適切な項目(損傷の種類)に対して状態の把握を実施しなければならない。

橋梁の構造や架橋位置などの条件によっては項目の追加や削除が必要となる場合もあるので、点検項目は対象橋梁毎に適切に設定しなければならない。

部位・部材区分

「部材」：主桁、橋脚、支承本体等

「部位」：部材中の特定部位、橋脚の柱部・壁部、梁部、隅角部・接合部等

道路橋定期点検要領(平成31年2月国土交通省道路局)の付録では、主要な部材を構造物の安全性や定期点検の目的に照らして橋の性能に直接的に影響を与える部材としている。一方、この定期点検要領における「主要部材」は、従前からこれとは異なる定義であり、損傷を放置しておくで橋の架け替えも必要になると想定される部材を指す。今回の改定でも従来からの記録の区分の継続性の観点から、主要部材の定義に変更はない。

[illegible]

部位・部材区分		対象とする項目（損傷の種類）	
		コンクリート	その他
構構（ボックスカルバート）	＊頂版	⑥ひびわれ ⑦床版ひびわれ ⑦その他 ・鉄筋の露出・腐食 ・薪木・遊積石灰	
※活荷重による影響が小さい腐性 ポスカ構造で、第三者被害の恐れ がないもの。	＊側壁 ＊底版 隔壁 その他	⑥ひびわれ ⑦その他 ・鉄筋の露出・腐食 ・薪木・遊積石灰	
翼壁			
周辺地盤			谷不同沈下 ⑦吸い出し 浮腫張の発生
その他	路上 その他		

部位・部材区分		対象とする項目（損傷の種類）	
		鋼	コンクリート
H形鋼桁橋	上部構造 ＊主桁 ＊床版 受承部 その他	①腐食 ＊床版 ⑩受承部の機能障害	⑦床版ひびわれ
※防錆工法で製造され ※外部で、塩害等の被害 手や雨・土壌・塵等がない もの			

部位・部材区分		対象とする項目（損傷の種類）	
		コンクリート	その他
RC床版橋	上部構造 ＊主桁	⑥ひびわれ ⑦床版ひびわれ ⑦さく ⑦その他 ・鉄筋の露出・腐食 ・薪木・遊積石灰	
※防錆工法で製造され ※外部で、塩害等の被害 手や雨・土壌・塵等がない もの	受承部 受承本体	⑩受承部の機能障害	



5. 状態の把握

状態の把握は、全ての部材等について近接目視により行うことを基本とする。また、必要に応じて触診や打音等の非破壊検査などを併用して行う。

近接が可能な部材等の一部の状態の把握を上記に示す方法によらない場合には、対策区分の判定及び健全性の診断を所要の品質で行うことができるように方法を決定する。

全ての部材等に近接して部材の状態を評価することを基本とする。

土中等物理的に近づくことができない部位に対しては、同一部材の当該部位の周辺の状態等に基づき状態を評価する。また、状態を確認するための調査等を必要に応じて実施する。

近接目視は、肉眼により変状等の状態を把握し評価が行える距離まで近接することを想定しているが、近接すべき程度や打音や触診などのその他の方法を併用する必要性については、構造物の特性、周辺部材の状態、想定される変状の要因や現象、環境条件、周辺条件などによっても異なる。したがって、一概にこれを定めることはできず、橋梁診断員が橋毎、かつ、対策区分の判定単位毎に判断する。近接目視で把握できる範囲の情報では不足するとき、触診や打音検査等も含めた非破壊検査等を行い、必要な情報を補う。

62



5. 状態の把握

表-5.1.2

状態把握の標準的な方法

定期点検の際、高度な機器や専門家による実施が不可欠な非破壊検査機器による調査を行うことが困難な場合もあり、そのような場合には「S1」とするなど、確実に必要な調査が行われるようにする。

材料	番号	損傷の種類	点検の標準的方法	必要や目的に応じて採用することのできる方法の例
鋼	①	腐食	目視、ノギス、点検ハンマー	超音波板厚計による板厚計測
	②	亀裂	目視	磁粉探傷試験、超音波探傷試験、渦流探傷試験、浸透探傷試験
	③	ゆるみ・脱落	目視、点検ハンマー	ボルトヘッドマークの確認、打音検査、超音波探傷(FIT等)、軸力計を使用した調査
	④	破断	目視、点検ハンマー	打音検査(ボルト)
	⑤	防食機能の変化	目視	写真撮影(画像解析による調査)、インペーダンス測定、膜厚測定、付着性試験
コンクリート	⑥	ひびわれ	目視、クラックゲージ	写真撮影(画像解析による調査)
	⑦	剥離・鉄筋露出	目視、点検ハンマー	写真撮影(画像解析による調査)、打音検査
	⑧	漏水・遊離石灰	目視	
	⑨	抜け落ち	目視	—
	⑩	床版ひびわれ	目視、クラックゲージ	写真撮影(画像解析による調査)
その他	⑪	うき	目視、点検ハンマー	打音検査、赤外線調査
	⑫	遊間の異常	目視、コンベックス	—
	⑬	路面の凹凸	目視、コンベックス、ホール	—
	⑭	舗装の異常	目視、コンベックス又はクラックゲージ	—
	⑮	支浜部の機能障害	目視	移動量測定
共通	⑯	その他		—
	⑰	補修・補強材の損傷	目視、点検ハンマー	打音検査、赤外線調査
	⑱	定着部の異常	目視、点検ハンマー、クラックゲージ	打音検査、赤外線調査
	⑲	変色・劣化	目視	—
	⑳	漏水・湧水	目視	赤外線調査
	㉑	異常な音・振動	聴覚、目視	—
	㉒	異常なたわみ	目視	測量
	㉓	変形・欠損	目視、水準、コンベックス	—
	㉔	土砂詰まり	目視	—
	㉕	沈下・移動・傾斜	目視、水準、コンベックス	測量
	㉖	洗掘	目視、ホール	レーザーレーザングラフ、水中カメラ

注: 写真撮影は、カメラ、ビデオ等のデジタル撮影機器により行う。

63

6. 対策区分の判定



6.1 判定区分

定期点検では、橋梁の損傷状況を把握したうえで、構造上の部材区分あるいは部位毎、損傷種類毎の対策区分について、付録－2「対策区分判定要領」を参考にしながら、表－6.1.1の判定区分による判定を行う。

A以外の判定区分については、損傷の状況、損傷の原因、損傷の進行可能性、当該判定区分とした理由など、定期点検後の維持管理に必要な所見を記録する。

表－6.1.1 対策区分の判定区分

判定区分	判定の内容
A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
C1	予防保全の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
C2	橋梁構造の安全性の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。
E2	その他、緊急対応の必要がある。
M	維持工事で対応する必要がある。
S1	詳細調査の必要がある。
S2	追跡調査の必要がある。

54

6.1 判定区分



本要領で定めた対策区分の判定の基本的な考え方

① 判定区分A

少なくとも定期点検で知りうる範囲では、損傷が認められないか損傷が軽微で補修の必要がない状態をいう。

② 判定区分B

損傷があり補修の必要があるものの、損傷の原因、規模が明確であり、直ちに補修するほどの緊急性はなく、放置しても少なくとも次回の定期点検まで(＝5年程度以内)に構造物の安全性が著しく損なわれることはないと判断できる状態をいう。

例) 交通量の少ない一般環境での一方方向のみ相当の床版ひびわれ

65

6. 1 判定区分



③ 判定区分C1

損傷が進行しており、耐久性確保(予防保全)の観点から、少なくとも次回の定期点検まで(=5年程度以内)には補修等される必要があると判断できる状態をいう。なお、橋梁構造の安全性の観点からは直ちに補修するほどの緊急性はないものである。

例)コンクリート部材に生じた数の少ないひびわれや腐食に繋がる危険性のある箇所での防食機能の劣化、関連する損傷の原因排除の観点から伸縮装置からの漏水や床版水抜きパイプの詰まり等

初回点検で発見された損傷については、早急に補修等を行うことにより長寿命化とライフサイクルコストの縮減に繋がると考えられるので、損傷の原因・規模が明確なものについては、損傷が軽微(B相当)であっても、損傷の進行状況にかかわらず、C1判定とする。

例)コンクリート主桁に生じた乾燥収縮又は温度応力を原因とするひびわれや、床版防水工の不良による漏水・遊離石灰

66

6. 1 判定区分



判定区分C2

損傷が相当程度進行し、当該部位、部材の機能や安全性の低下が著しく、橋梁構造の安全性の観点から、少なくとも次回の定期点検まで(=5年程度以内)には補修等される必要があると判断できる状態

例)

・コンクリート部材に生じたひびわれのうち限定的な鉄筋破断を伴う損傷

なお、一つの損傷でC1、C2両者の理由から速やかな補修等が必要と判断される場合は、C2に区分する。

67

6. 1 判定区分



④ 判定区分E1

橋梁構造の安全性が著しく損なわれており、緊急に処置されることが必要と判断できる状態

例) 亀裂が鈑桁形式の主桁ウェブや鋼製橋脚の横梁のウェブに達しており亀裂の急激な進展の危険性がある場合、桁の異常な移動により落橋のおそれがある場合

判定区分E2

自動車、歩行者の交通障害や第三者等への被害のおそれが懸念され、緊急に処置されることが必要と判断できる状態

例)

・遊間が異常に広がっており二輪車の転倒が懸念される場合や、コンクリート塊が落下し、路下の通行人、通行車両に被害を与えるおそれが高い場合

68

6. 1 判定区分



⑤ 判定区分M

損傷があり、当該部位、部材の機能を良好な状態に保つために日常の維持工事で緊急に処置されることが必要と判断できる状態

例) 支承や排水施設に土砂詰りがある場合

⑥ 判定区分S1

損傷があり、補修等の必要性の判定を行うにあたって原因の確定など詳細な調査が必要と判断できる状態

例) アルカリシリカ反応の恐れがある事象において、コンクリート表面に亀甲状のひびわれが生じている場合

判定区分S2

詳細調査を行う必要性はないものの、追跡調査が必要と判断できる状態

例) 乾燥収縮によるコンクリート表面のひびわれの進展を見極める必要がある場合

69

6. 2 ～ 6. 5



6. 2 補修等の必要性の判定

橋梁の効率的な維持・補修等の計画を立案するため、構造上の部材区分あるいは部位毎に、損傷の種類、損傷の状態、部位、部材の重要度、損傷の進行可能性を考慮して、補修等の必要性和緊急性について判定する。

6. 3 緊急対応の必要性の判定

安全で円滑な交通の確保、沿道や第三者への被害予防を図るため、損傷の発生している部材・部位とその程度、周囲の状況を総合的に考慮して、緊急対応の必要性について判定する。

6. 4 維持工事で対応する必要性の判定

当該部材・部位の機能を良好な状態に保つため、損傷の種類と規模、発生箇所を考慮して、日常の維持工事で早急に対応することの必要性和妥当性について判定する。

6. 5 詳細調査又は追跡調査の必要性の判定

定期点検で把握できる損傷の状況には限界があり、損傷原因や規模、進行可能性などが不明で、6. 2に規定の判定が困難である場合には、部材・部位の重要度も考慮して、詳細調査又は追跡調査の必要性について判定する。

70

7. 健全性の診断



7. 1 部材単位の健全性の診断

定期点検では、部材単位での健全性の診断を行う。

(1)健全性の診断の区分

表-7.1 判定区分

区分		定義
I	健全	道路橋の機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	道路橋の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	道路橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	道路橋の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

(2)健全性の診断の単位

部材単位の診断は、構造上の部材区分あるいは部位毎、損傷種類毎に行うことを基本とする

71

7. 1 部材単位の診断



6章に定める「対策区分の判定」が行われるため、部材単位の健全性の診断の実施は「対策区分の判定」を同時に行うことが合理的である。

「健全性の診断」と「対策区分の判定」は、あくまでそれぞれの定義に基づいて独立して行うことが原則であるが、一般には次のような対応となる。

「Ⅰ」： A, B
「Ⅱ」： C1, M
「Ⅲ」： C2
「Ⅳ」： E1, E2

72

7. 2 道路橋毎の診断



定期点検では、橋単位で、表-7.2 の判定区分による健全性の診断を行う。

表-7.2 判定区分

区分		定義
I	健全	道路橋の機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	道路橋の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	道路橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	道路橋の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

道路橋毎の健全性の診断は、道路橋単位で総合的な評価を付ける。

一般には、構造物の性能に影響を及ぼす主要な部材に着目して、最も厳しい評価で代表させることができる。

73

8. 定期点検結果の記録



8.1 健全性の診断の記録

定期点検で行った健全性の診断についての記録は、適切な方法で記録し、蓄積しておかなければならない。

定期点検で行った健全性の診断の記録は、維持・補修等の計画を立案する上で参考とする基礎的な情報であり、適切な方法で記録し、蓄積しておかなければならない。

「対策区分の判定」「健全性の診断」については、補修補強等の措置が行われたり、その他の事故や災害等により道路橋の状態に変化があった場合には、再評価を行ってその結果を記録に反映させておかなければならない。

定期点検結果の記録は、付録－3「定期点検結果の記入要領」による。

定期点検結果の記録は、点検毎に作成、保管し、蓄積する。

74

8.2 損傷程度の記録と変状の記録



部位、部材の最小評価単位(以下「要素」という。)毎、損傷の種類毎に損傷の客観的な状態を記録するものとして、少なくとも以下を網羅する。

- ① 要素毎、損傷種類毎の写真を付録－3「定期点検結果の記入要領」に基づき、客観的なデータとして記録する。ここで対象とする損傷の種類は、表－5.1.1とする。
- ② 損傷程度を付録－2「損傷程度の評価要領」に基づいて分類データ化し、記録する。
- ③ ②で分類データ化した損傷の位置関係を俯瞰できるように、またデータ化が困難な損傷等についても、付録－3「定期点検結果の記入要領」に基づき、その特徴を把握できるようにスケッチを作成する。

損傷の記録は橋梁の状態を示す最も基礎的なデータとして蓄積され、維持・補修等の計画の検討などに利用される。したがって、損傷程度の評価はできるだけ正確かつ客観的となるように行わなければならない。

75

付録—1 対策区分判定要領



1. 対策区分判定の基本

1. 1 対策区分判定の内容 1. 2 対策区分判定の流れ 1. 3 所見

2. 一般的性状・損傷の特徴等と対策区分判定

鋼部材の損傷

- | | | |
|------|-----------|----------|
| ① 腐食 | ② 亀裂 | ③ ゆるみ・脱落 |
| ④ 破断 | ⑤ 防食機能の劣化 | |

コンクリート部材の損傷

- | | | |
|--------|-----------|-----------|
| ⑥ ひびわれ | ⑦ 剥離・鉄筋露出 | ⑧ 漏水・遊離石灰 |
| ⑨ 抜け落ち | ⑪ 床版ひびわれ | ⑫ うき |

その他の損傷

- | | | |
|------------|---------|---------|
| ⑬ 遊間の異常 | ⑭ 路面の凹凸 | ⑮ 舗装の異常 |
| ⑯ 支承部の機能障害 | ⑰ その他 | |

共通の損傷

- | | | |
|-------------|-----------|------------|
| ⑩ 補修・補強材の損傷 | ⑱ 定着部の異常 | ⑲ 変色・劣化 |
| ⑳ 漏水・滞水 | ㉑ 異常な音・振動 | ㉒ 異常なたわみ |
| ㉓ 変形・欠損 | ㉔ 土砂詰まり | ㉕ 沈下・移動・傾斜 |
| ㉖ 洗掘 | | |

3. 損傷の着目箇所

- | | | |
|--------------|--------------|---------------|
| 3. 1 鋼橋 | 3. 2 コンクリート橋 | 3. 3 コンクリート床版 |
| 3. 4 下部構造 | 3. 5 支承 | 3. 6 伸縮装置 |
| 3. 7 高欄・地覆 | 3. 8 排水施設 | 3. 9 落橋防止システム |
| 3. 10 引張り材全般 | | |

76

1.1 対策区分判定の内容



対策区分判定は、部材の重要性や損傷の進行状況、環境の条件など様々な要因を総合的に評価し、原則として構造上の部材区分あるいは部位ごとに、損傷状況に対する橋の機能状態などの性能や健全性などの状態についての一次的な評価(判定)を行う。

- 判定にあたり、現地での損傷状況のみならず必要な書類等についても調査を行うことが重要
- 損傷状況は、橋梁点検員による損傷程度の評価結果を書面で確認することに加えて、橋梁検査員は自ら現地にて確認することを原則。

判定にあたり、一般的に必要となる情報のうち代表的なもの

【構造に関わる事項】

- ・構造形式、規模、構造の特徴

【設計・製作・施工の各条件に関わる事項】

- ・設計年次、適用示方書
- ・架設された年次
- ・使用材料の特性

【使用条件に関わる事項】

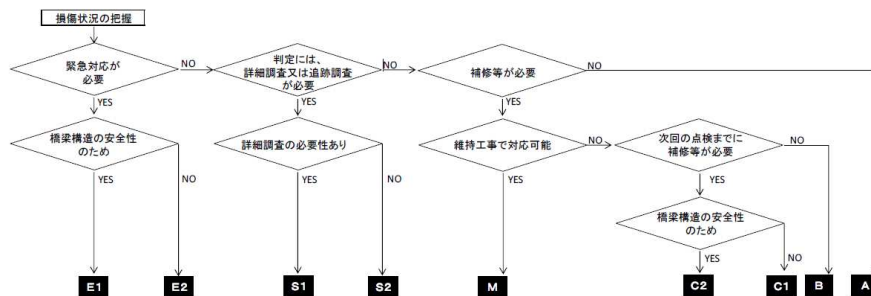
- ・交通量、大型車混入率
- ・橋梁の周辺環境・架橋条件
- ・維持管理の状況(凍結防止剤の散布など)

【各種の履歴に関わる事項】

- ・橋梁の災害履歴、補修・補強履歴
- ・第三者被害予防措置履歴
- ・過去の各種点検結果

77

1.2 対策区分判定の流れ



78

1.3 所見



所見・・・損傷状況について、部材区分単位で損傷種類ごとに橋梁診断員の見解を記述

当該橋やその損傷等に対して、点検結果の妥当性の評価や、最終的にどのような措置を行うこととするのかなどの判断や意思決定は、点検結果以外の様々な情報も考慮して**道路管理者**が実施。



単に損傷の外観的特徴などの客観的事実を記述するだけでなく、可能なものについて推定される損傷の原因、進行性についての評価、他の損傷との関わりなどの損傷に関する各種の判定とその根拠や考え方など、道路管理者が対応方針を判断するために必要となる事項について、**橋梁診断員**の意見を記述。

79

2. 一般的性状・損傷の特徴等と対策区分判定



例:⑦剥離・鉄筋露出

⑦ 剥離・鉄筋露出

【一般的性状・損傷の特徴】

コンクリート部材の表面が剥離している状態を剥離、剥離部で鉄筋が露出している場合を鉄筋露出という。

【他の損傷との関係】

- ・剥離・鉄筋露出とともに変形・欠損（衝突痕）が生じているものは、別途、それらの損傷としても扱う。
- ・「剥離・鉄筋露出」には露出した鉄筋の腐食、破断などを含むものとし、「腐食」、「破断」などの損傷としては扱わない。
- ・床版に生じた剥離・鉄筋露出は、「床版ひびわれ」以外に本項目でも扱う。

【対策区分判定】

○判定区分E1：橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応が必要な損傷

坂害地域において床版下面でP.C鋼材が露出し、断面欠損にまで至っており、今後も損傷進行が早いと判断され、構造安全性を著しく損なう危険性が高い状況などにおいては、緊急対応が妥当と判断できる場合がある。

○判定区分E2：その他、緊急対応が必要な損傷

剥離が発生しており、他の部位でも剥離落下を生じる危険性が極めて高く、第三者被害が懸念される状況などにおいては、緊急対応が妥当と判断できる場合がある。

○判定区分S1、S2：詳細調査又は追跡調査が必要な損傷

鉄筋の腐食によって剥離している箇所が見られ、鉄筋の腐食状況によって剥離が連続的に生じるおそれがある状況などにおいては、詳細調査を実施することが妥当と判断できる場合がある。

○所見を記載する上での参考

損傷箇所	代表的な損傷原因の例	懸念される構造物への影響の例
コンクリート部材全般	・かぶり不足、豆板、打雑目処理と浸透水による鋼材腐食 ・コンクリートの中性化、塩害、アルカリ骨材反応、化学的侵食 ・後理コンクリートの締固め不足、鉄筋の不足 ・締固め不足 ・脱型時のコンクリート強度不足 ・局部応力の集中 ・衝突又は接触 ・鉄筋腐食による体積膨張 ・火災による強度低下 ・凍結融解 ・セメントの不良 ・骨材の不良(反応性及び風化性骨材)	・断面欠損による前荷力の低下 ・鉄筋腐食による前荷力の低下 ・軸荷重の繰り返しによる損傷の拡大、床版機能の損失

○判定区分M：維持工事で対応が必要な損傷

全体的な損傷はないものの、部分的に剥離が生じており、損傷の規模が小さく措置のしやすい場所にある状況などにおいては、維持工事で対応することが妥当と判断できる場合がある。

なお、露出した鉄筋の防錆処理は、モルタル補修や断面回復とは別に、維持工事で対応しておくことが望ましい。

○判定区分B、C1、C2：補修等が必要な損傷

80

2. 一般的性状・損傷の特徴等と対策区分判定



例:⑧漏水・遊離石灰

⑧ 漏水・遊離石灰

【一般的性状・損傷の特徴】

コンクリートの打雑目やひびわれ部等から、水や石灰分の滲出や漏出が生じている状態をいう。

【他の損傷との関係】

- ・排水不良などでコンクリート部材の表面を伝う水によって発生している析出物は、遊離石灰とは区別して「応その他」として扱う。また、外部から供給されそのままコンクリート部材の表面を流れている水については、「漏水・湧水」として扱う。
- ・ひびわれ、うき、剥離などに他に該当するコンクリートの損傷については、それぞれの項目でも扱う。
- ・床版に生じた漏水・遊離石灰は、「床版ひびわれ」以外に本項目でも扱う。

【対策区分判定】

○判定区分E1：橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応が必要な損傷

床版からの遊離石灰に土砂分が混入しており、床版防水層は損傷していることから今後も損傷進行が早いと判断され、構造安全性を著しく損なう危険性が高い状況などにおいては、緊急対応が妥当と判断できる場合がある。

○判定区分E2：その他、緊急対応が必要な損傷

○判定区分S1、S2：詳細調査又は追跡調査が必要な損傷

発生している漏水や遊離石灰が、排水の不良部分から表面的なひびわれを伝って生じているものか、部材を貫通したひびわれから生じているものが特定できない状況などにおいては、詳細調査を実施することが妥当と判断できる場合がある。

○判定区分M：維持工事で対応が必要な損傷

○判定区分B、C1、C2：補修等が必要な損傷

○所見を記載する上での参考

損傷箇所	代表的な損傷原因の例	懸念される構造物への影響の例
コンクリート部材全般	・漏水の進行 ・締め固め不十分 ・ひびわれの進行 ・防水層未施工 ・打設方法の不良 ・打雑目の不良	・ひびわれによる鉄筋の腐食 ・伸縮装置の損傷 ・合成板では主筋の剛性低下 ・非合成板でも合成作用の損失 ・床版機能の損失 ・コンクリートの損傷

81

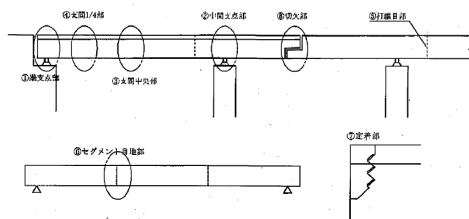
3. 損傷の主な着目箇所

例:3.2 コンクリート橋



一般的に生じやすい損傷

コンクリート橋において発生しやすい損傷は、ひびわれと遊離石灰である。点検をする上で特に重点的に着目する必要がある箇所。



着目箇所	内容
①端支点部	支承反力、地震、温度変化による水平力、伸縮装置からの漏水等により損傷を受けやすい。
②中間支点部	中間支点部(連続桁)では、負の曲げモーメント及びせん断力が最大となり、かつ集中的な支点反力を受け応力状態が複雑となる部分であり、ひびわれが発生しやすい。
③支間中央部	曲げモーメントが極大となる部分であり、曲げひびわれが発生しやすい。
④支間1/4部	鉄筋の曲げ上げ点で鉄筋量が少なく、支承の作動不良等により思わぬひびわれが発生することがある。
⑤打継目部	乾燥収縮や施工不良によるひびわれ、剥離、うき、漏水が発生しやすい。
⑥セグメント目地部	セグメント施工の場合、打継部と同様の損傷が発生しやすい。
⑦定着部	ウェブやフランジに突起を設けてPC鋼材を定着している部分では、引張応力の集中によるひびわれが発生しやすい。また、定着部は後打ちコンクリートで覆われており、打継目部より雨水が浸透しやすく定着装置が腐食しやすい。
⑧切欠部	主桁断面が急激に変化する部分(ゲルバーヒンジ部や桁切欠部等)では、応力集中によるひびわれが発生しやすい。

82

付録ー2 損傷程度の評価要領



鋼部材の損傷

- 1 腐食
- 2 亀裂
- 3 ゆるみ・脱落
- 4 破断
- 5 防食機能の劣化

コンクリート部材の損傷

- 6 ひびわれ
- 7 剥離・鉄筋露出
- 8 漏水・遊離石灰
- 9 抜け落ち
- 11 床版ひびわれ
- 12 うき

その他の損傷

- 13 遊間の異常
- 14 路面の凹凸
- 15 舗装の異常
- 16 支承部の機能障害
- 17 その他

共通の損傷

- 10 補修・補強材の損傷
- 18 定着部の異常
- 19 変色・劣化
- 20 漏水・滞水
- 21 異常な音・振動
- 22 異常なたわみ
- 23 変形・欠損
- 24 土砂詰まり
- 25 沈下・移動・傾斜
- 26 洗掘

83

損傷程度の評価と記録(例)



例:⑦剥離・鉄筋露出

【損傷程度の評価と記録】

(1) 損傷程度の評価区分

損傷程度の評価は、次の区分によるものとする。

区分	一 般 的 状 況
a	損傷なし
b	—
c	剥離のみが生じている。
d	鉄筋が露出しており、鉄筋の腐食は軽微である。
e	鉄筋が露出しており、鉄筋が著しく腐食又は破断している。

(2) その他の記録

剥離・鉄筋露出の発生位置やその範囲・状況をスケッチや写真で記録するとともに、代表的な損傷の主要寸法を損傷図に記載するものとする。

例:⑧漏水・遊離石灰

【損傷程度の評価と記録】

(1) 損傷程度の評価区分

損傷程度の評価は、次の区分によるものとする。

区分	一 般 的 状 況
a	損傷なし
b	—
c	ひびわれから漏水が生じている。 錆汁や遊離石灰はほとんど見られない。
d	ひびわれから遊離石灰が生じている。錆汁はほとんど見られない。
e	ひびわれから著しい漏水や遊離石灰（例えば、つらら状）が生じている。又は漏水に著しい泥や錆汁の混入が認められる。

注）打継目や目地部から生じる漏水・遊離石灰についても、ひびわれと同様の扱いとする

(2) その他の記録

漏水・遊離石灰の発生位置やその範囲・状況をスケッチや写真で記録するとともに、漏水のみか、遊離石灰が発生しているかの区別や錆汁の有無についても記録する。更に、当該部分のひびわれ状況を損傷図に記載するものとする。

84

3-2. 道路トンネル定期点検要領



1. 社会資本・維持管理について

2. 法令・安全衛生

3-1. 橋梁定期点検要領

3-2. 道路トンネル定期点検要領

4. コンクリートに関する基礎知識

5. 構造物の点検技術，点検方法

6. トンネル

7. 補修・補強工法

8. 事例

85

道路トンネル定期点検要領



道路トンネル定期点検要領

平成31年3月
国土交通省 道路局 国道・技術課

本テキスト内で紹介する『道路トンネル定期点検要領 平成31年3月 国土交通省 道路局 国道・技術課』は、道路法(昭和27年法律第180号)第2条第1項に規定する道路におけるトンネル(以下「道路トンネル」という)のうち、国土交通省及び内閣府沖縄総合事務局が管理する道路トンネルの定期点検に適用する。

また、『道路トンネル定期点検要領 平成31年2月 国土交通省 道路局』は道路法施行規則第4条の5の6の規定に基づいて行う定期点検について、道路管理者が遵守すべき事項や法令を運用するにあたり最低限配慮すべき事項を記したものである。(それぞれ、以下の国土交通省ホームページよりダウンロード可能であるので、トンネル維持管理業務に従事する場合は、確認してください。)

<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html>

86

目次



- | | |
|------------|---------------------|
| 1. 適用範囲 | 6. 状態の把握 |
| 2. 用語の説明 | 7. 対策区分の判定 |
| 3. 定期点検の目的 | 8. 健全性の診断 |
| 4. 定期点検の頻度 | 8. 1 変状等の健全性の診断 |
| 5. 定期点検の体制 | 8. 2 道路トンネル毎の健全性の診断 |
| | 9. 定期点検結果の記録 |
| | 10. 措置 |

点検調書

- 付録－1 定期点検でとくに注意すべき部位、変状状況
- 付録－2 変状種類と対策区分及び附属物の異常判定区分
- 付録－3 定期点検結果の記録様式

87

1. 適用範囲



本要領は、道路法（昭和27年法律第180号）第2条第1項に規定する道路におけるトンネル（以下「道路トンネル」という）のうち、国土交通省及び内閣府沖縄総合事務局が管理する道路トンネルの定期点検に適用する。

88

2. 用語の説明



(1) 定期点検

定期点検は、定期点検を行う者が、近接目視を基本として状態の把握（点検）を行い、かつ、道路トンネル毎の健全性を診断することの一連を言い、予め定める頻度で、道路トンネルの最新の状態を把握するとともに、次回の定期点検までの措置の必要性の判断を行う上で必要な情報を得るために行うものである。

(2) 措置

定期点検結果や必要に応じて措置の検討のために追加で実施する各種の調査結果に基づいて、道路管理者が、道路トンネルの機能や耐久性等の維持や回復を目的に、監視、対策を行うことをいう。具体的には、定期的あるいは常時の監視、対策（補修・補強）などが例として挙げられる。また、緊急に対策を講じることができない場合などの対応として、通行規制・通行止めなどがある。

(3) 対策

対策には、短期的に道路トンネルの機能を維持することを目的とした応急対策と中～長期的に道路トンネルの機能を回復・維持することを目的とした本対策5がある。

89

2. 用語の説明



(4) 監視

監視は、対策を実施するまでの期間、道路トンネルの管理への活用を予定し、予め決めた箇所の挙動等を追跡的に把握することをいう。

(5) 記録

定期点検、措置の検討などのために追加で行った各種調査の結果、措置の結果について、以後の維持管理のために記録することをいう。

(6) トンネル本体工

覆工、坑門、内装板、天井板、路面、路肩、排水施設及び補修・補強材をいう。

(7) 取付部材

天井板や内装板、トンネル内附属物を取り付けるための金具類をいい、吊り金具、ターンバックル、固定金具、アンカーボルト・ナット、継手等をいう。

(8) 変状等

道路トンネル内に発生した変状と異常の総称をいう。

90

3. 定期点検の目的



(1) 定期点検は、利用者への被害の回避、通行止めなど長期にわたる機能不全の回避、長寿命化への時宜を得た対応などのトンネルに係る維持管理を適切に行うために必要な情報を得ることを目的に実施する。

(2) 定期点検では、近接目視を基本とした状態の把握と次回定期点検までの措置方針の参考とするための対策区分の判定を行う。また、省令や告示（以下「法令」という）で求められる道路トンネル毎の健全性の診断、並びに、その参考にするための変状等や覆工スパン毎の健全性の診断を行う。

(3) 定期点検では(2)に加えて、将来の維持管理の参考となり、かつ将来に向けた維持管理計画の策定や見直しに用いるため、変状等の記録を行う。

道路トンネルの定期点検を対象としたメンテナンスサイクルの基本的なフローを図-解3.1に示す。

91

3. 定期点検の目的

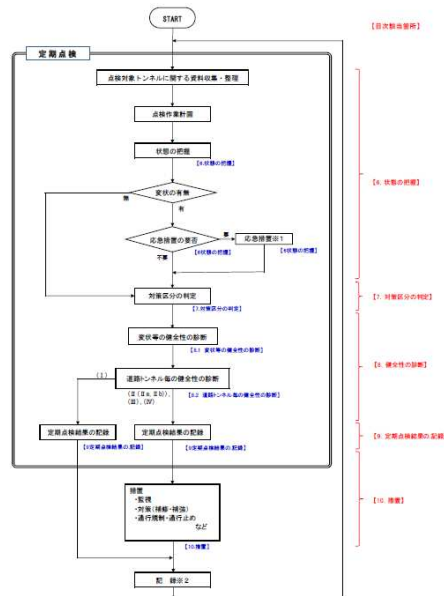


図-解3.1 定期点検を対象としたメンテナンスサイクルの基本的なフロー

92

4. 定期点検の頻度



定期点検は、建設後1年から2年の間に初回を行い、二回目以降は、5年に1回の頻度で行うことを基本とする。

定期点検は、道路トンネルの現在の状態を把握するとともに、次回の定期点検までに措置の必要性の判断を行う上で必要な技術的所見を得るために行う。そのため、5年に1回の頻度で実施することを基本とする。なお、道路トンネル周辺の地質条件や環境条件、変状の発生状況によっては5年より短い間隔で定期点検することを妨げるものではない。また、既存トンネルの補修や補強の工事が行われる場合には、工事における交通規制を活用して定期点検も検討するなど、効率的に定期点検を実施するのがよい。

93

5. 定期点検の体制



(1) 定期点検のうち、対策区分の判定及び健全性の診断や関連する所見の提示、及び、このために必要な状態の把握は、これらの一連を適正に行うために必要な、道路トンネルに関する知識及び技能を有する者が行わなければならない。

(2) この他にこの定期点検要領が求める変状等の記録、定期点検を適正に行うために必要とされる作業などについても、それぞれの記録、作業等に適正な能力を有するものが行わねばならない。

94

6. 状態の把握



(1) 道路トンネル毎に対策区分の判定や健全性の診断にあたって必要な情報が得られるよう、状態の把握を実施しなければならない。

(2) 状態の把握は、近接目視により行うことを基本とする。また、必要に応じて触診や打音検査等の非破壊検査等を併用して行う。

(3) 近接が可能な点検箇所の一部の状態の把握を(2)に示す方法によらない場合には、対策区分の判定及び健全性の診断を所要の品質で行うことができるように方法を決定する。

95

7. 対策区分の判定



定期点検では、道路トンネルの変状の状況から、変状毎に表-7.1の対策区分による判定を行う。

表-7.2対策区分

区分		定義
I		利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態。
II	II b	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を必要とする状態。
	II a	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態。
III		早晩、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に措置を講じる必要がある状態。
IV		利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態。

※1 判定区分Ⅳにおける「緊急」とは、早期に措置を講じる必要がある状態から、交通開放できない状態までを言う。

96

8. 健全性の診断



8.1 変状等の健全性の診断

変状等の健全性の診断は、表-8.1の判定区分により行うことを基本とする。

表-8.1 判定区分

区分		定義
I	健全	道路トンネルの機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	道路トンネルの機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

97

8. 健全性の診断



8.2 道路トンネル毎の健全性の診断

覆エスパン毎及び道路トンネル毎の健全性の診断は、表-8.2 の判定区分により行う。

表-8.2 判定区分

区分		定義
I	健全	道路トンネルの機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	道路トンネルの機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

98

8. 健全性の診断



8.2 道路トンネル毎の健全性の診断

①健全性の診断

変状等の健全性の診断をもとに、覆エスパン毎の健全性を診断し、その結果を総合して道路トンネル毎の健全性の診断を行う。

判定区分は、変状等の状態判定の健全性の診断と同じ「I」から「IV」までの4区分とする。

②診断の方法

トンネルでいう最小の構造単位は、覆エコンクリートの1スパンである。道路トンネル毎の健全性の診断は、予め覆エスパン毎に健全性を診断し、その診断結果をもとに、道路トンネル全体の健全性を総合的に診断する。ここでいう覆エスパン毎の健全性の診断とは、下記1)に示す覆エスパン全体の総括的な診断であり、変状等の健全性の診断において、外力に起因する変状を覆エスパン単位で診断する場合と区別する。

99

8. 健全性の診断



8.2 道路トンネル毎の健全性の診断

1) 覆エスパン毎の健全性

一般には、変状単位及び覆エスパン単位に得られた材質劣化、漏水、外力に関する各変状のうち最も評価の厳しい健全性を採用し、その覆エスパン毎の健全性とする。

2) 道路トンネル毎の健全性

一般には、トンネルの覆エスパン毎での最も評価の厳しい健全性を採用し、その道路トンネル毎の健全性とする。

「道路トンネル毎の健全性の診断」の単位は、トンネル1箇所毎とし、上下線等、分離して設けられている場合は、分離されているトンネル毎に計上し、複数トンネルとして取り扱う。

100

8. 健全性の診断 8.2 道路トンネル毎の健全性の診断

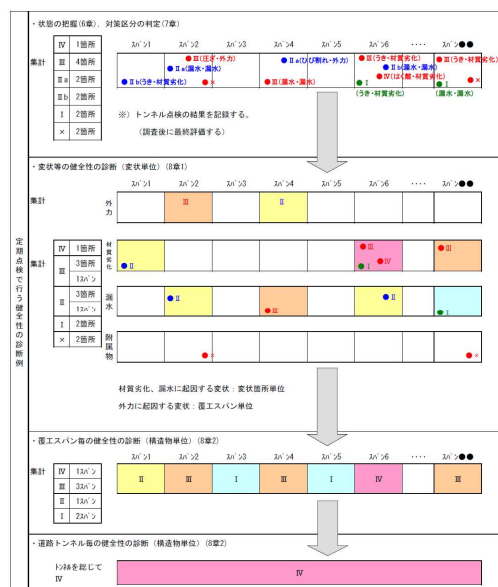


図-解 8.1 健全性の診断の流れの例

101

9. 定期点検結果の記録



定期点検で行った健全性の診断についての記録は、適切な方法で記録し、当該道路トンネルが利用されている期間中は、これを保存する。

定期点検で行った健全性の診断の記録は、維持・補修等の計画を立案する上で参考とする基礎的な情報であり、適切な方法で記録し蓄積しておかなければならない。
定期点検結果の記録は、付録-3「定期点検結果の記録様式」に基づき記載する。

102

10. 措置



健全性の診断に基づき、道路の効率的な維持及び修繕が図られるよう、必要な措置を講ずる。

措置には、補修や補強などの道路トンネルの機能や耐久性等を維持又は回復するための対策のほか、定期的あるいは常時の監視、緊急に措置を講じることができない場合などの対応として通行規制・通行止めがある。監視は、対策を実施するまでの期間、その適切性を確認した上で、変状の挙動を追跡的に把握し、以て道路トンネルの管理に反映するために行われるものであり、これも措置の一つであると位置づけられる。

措置にあたっては、定期点検結果や必要に応じて措置の検討のために追加で実施する各種の調査結果に基づいて、道路管理者が、道路トンネルの機能や耐久性等を回復させるための最適な対応を総合的に検討する。

なお、措置は、適用する対策の効果と持続性、即応性、定期点検後に行われる調査の容易性等から、対策（応急対策及び本対策）、監視に区分して取り扱う。

本対策とは、中～長期的に道路トンネルの機能を回復・維持することを目的として適用する対策である。また、応急対策とは、定期点検等で利用者被害が生じる可能性が高い変状が確認された場合、調査や本対策を実施するまでの期間に限定し、短期的に道路トンネルの機能を維持することを目的として適用する対策である。

さらに、監視は、応急対策を実施した箇所、もしくは健全性の診断の結果、当面は応急対策や本対策の適用を見送ると判断された箇所に対し、変状の挙動を追跡的に把握するために行われるものである。

また、やむを得ず、速やかに対策を講じることができない場合などの対応として、対策を実施するまでの一定期間にわたって通行規制・通行止めを行う場合がある。

103

付録－１ 点検でとくに注意すべき部位、変状状況



①覆工の目地及び打継ぎ目

・覆工の目地及び打継ぎ目は、コンクリート面が分離された部分であり、周辺にひび割れが発生した場合、目地及び打継ぎ目とつながりコンクリートがブロック化しやすい。
・覆工の型枠解体時の衝撃等により、目地及び打継ぎ目付近にひび割れが発生することがある。
・覆工の横断目地付近に温度伸縮等により応力が集中し、ひび割れ、うき・はく離が発生することがある。
・施工の不具合等で段差等が生じた箇所を化粧モルタルで補修することがあり、化粧モルタルや事後の補修モルタルがはく落することがある。
・覆工が逆巻き工法で施工された矢板工法のトンネル※は、水平打継ぎ目に化粧モルタルを施工することがあり、化粧モルタルや事後の補修モルタルがはく落することがある。
※矢板工法は横断目地だけではなく、水平打継ぎ目に留意する。

②覆工の天端付近

覆工コンクリートを横断的に一つのブロックとしてとらえると、天端付近はブロックの中間点にあたり、乾燥収縮及び温度伸縮によるひび割れが生じやすい。

③覆工スパンの中間付近

覆工スパンの中間付近は、乾燥収縮及び温度伸縮によるひび割れが発生しやすい。

104

付録－１ 点検でとくに注意すべき部位、変状状況



④顕著な変状の周辺

1) ひび割れ箇所

ひび割れの周辺に複数のひび割れがあり、ブロック化してうき・はく離が認められる場合がある。

2) 覆工等の変色箇所

覆工表面が変色している場合は、観察するとひび割れがあり、そこから遊離石灰や錆汁等が出ている場合が多い。その周辺を打音検査するとき・はく離が認められる場合がある。

3) 漏水箇所

覆工表面等に漏水箇所や漏水の跡がある場合は、ひび割れや施工不良（豆板等）があり、そこから水が流れ出している場合が多い。その付近のコンクリートに、うき・はく離が発生しているおそれがある。

4) 覆工の段差箇所

覆工の表面に段差がある場合は、異常な力が働いた場合や施工の不具合等、何らかの原因があり、構造的な弱点となっている場合がある。

5) 補修箇所

覆工の補修は、覆工コンクリートと別の材料であるモルタル、鋼材、繊維シート、その他を塗布、貼り付け又はボルト固定により補修した場合が多く、容易に判別できる。これらの補修箇所は補修材自体、または、接着剤が劣化若しくはボルトが緩み不安定な状態になっていたり、変状が進行して周囲にうき・はく離が生じている場合がある。覆工表面に補修材が貼り付けられている場合、背面の状態や補修材の接着状況等にも配慮して点検を行うことが望ましい。

なお、補修材等の変状については、補修等の目的に基づき変状種類及び変状区分を定める。たとえば、漏水対策として導水樋を設置している場合、導水樋の止め金具の緩みなどの変状についても変状区分を漏水とする。

105

付録－１ 点検でとくに注意すべき部位、変状状況



6) コールドジョイント付近に発生した変状箇所

コールドジョイントは施工の不具合でできた継ぎ目である。コールドジョイントの付近にひび割れが発生しやすいので、コンクリートがブロック化することがある。特にコールドジョイントが覆工の軸線と斜交する場合は、薄くなった覆工コンクリート表面にひび割れが発生し、はく落しやすい。また、せん断に対する抵抗力が低下する原因となる。

⑤ 附属物

トンネル内附属物本体やその取付部材を固定するボルトが緩んで脱落した場合、附属物本体の落下につながる可能性がある。

106

付録－２ 変状種類と対策区分及び附属物の異常判定区分



① トンネル本体工

「対策区分の目安例」は「対策区分」を補完するために示すが、定量的に判断することが困難な場合もあり、変状原因が複合していることも考えられるため、機械的に適用するものではなく、現場の状況に応じて判定を行う。

- 1) 圧ざ、ひび割れ
- 2) うき・はく離
- 3) 変形、移動、沈下
- 4) 鋼材腐食
- 5) 巻厚の不足または減少、背面空洞
- 6) 漏水等による変状

② 附属物

- 1) 異常判定区分
- 2) 留意点

107

付録-3 定期点検結果の記録様式



① 定期点検記録様式の種類

道路トンネルの点検表の構成及び記載内容は付表-3.1のとおり。今回の要領では、前回の要領から附属物等の取付状態に関する異常写真のとりまとめ様式(様式D-1-2)及び近接目視による状態の把握が不可能であった箇所を記録する様式(様式E)を加えた。

また、従来様式についても関連基準との整合、位置情報の追加や点検支援技術の活用による維持管理の効率化、定期点検の実施実態などを踏まえ修正を行っている。

付表-3.1 定期点検要領 定期点検記録様式リスト

様式番号		記録内容
様式 A-1	トンネル 台帳	トンネル諸元、非常用施設諸元
様式 A-2		トンネル情報一覧表
様式 A-3		トンネル記録(位置図、断面図、施工実績他)
様式 B	定期点検 記録様式	トンネル変状・異常箇所写真位置図
様式 C-1-1		全スパン定期点検結果総括表(トンネル本体工)
様式 C-1-2		定期点検結果総括表(トンネル内附属物等の取付状態)
様式 C-2		状態の把握の内容
様式 D-1-1		変状写真台帳
様式 D-1-2		異常写真台帳(トンネル内附属物等の取付状態)
様式 D-2-1		トンネル全体変状展開図
様式 D-2-1'		トンネル全体変状展開図(機器の活用時)
様式 D-3		覆工スパン別変状詳細展開図
様式 E		近接目視による状態の把握ができていない箇所・近接目視によらない方法を講じた箇所
様式 F	診断調査	診断結果(変状単位・覆工スパン毎・トンネル毎)

108

4. コンクリートに関する基礎知識



1. 社会資本・維持管理について
2. 法令・安全衛生
- 3-1. 橋梁定期点検要領
- 3-2. 道路トンネル定期点検要領
4. コンクリートに関する基礎知識
5. 構造物の点検技術, 点検方法
6. トンネル
7. 補修・補強工法
8. 事例

109

コンクリートに関する基礎知識



1. コンクリートに関する基本事項と設計について (Vol.1)
2. コンクリートの変形 (Vol.2)
3. コンクリートの各種劣化パターン (Vol.3)
4. コンクリートの関係の示方書・参考書籍類の紹介
 - ①コンクリート標準示方書 維持管理編 (Vol.4)
 - ②表面保護工法設計施工指針(案) (Vol.5)
 - ③電気化学的防食工法施工指針(案) (Vol.6)

110

コンクリートとは何か？

コンクリートに関する基本事項
と設計について (Vol.1)



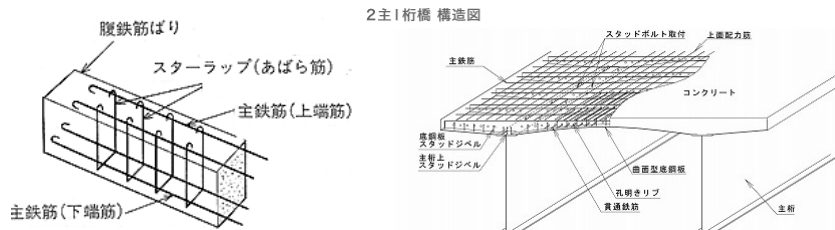
- 「セメントコンクリート」の略称。
- 古代ローマ時代に、火山灰、石灰、砂などを混合し硬化体を製造したのが始まり。
- 水、セメント、粗骨材、細骨材、各種混和材・剤などによる複合材料。
- 凝固前は「フレッシュコンクリート」
その後は「硬化コンクリート」と呼ばれる。
- 試験の種類
 - 「フレッシュコンクリート」の時
→スランプ試験、空気量試験、塩化物量試験
 - 「硬化コンクリート」の時
→圧縮強度試験
(フレッシュコンクリートの時に供試体の採取を行う)

111

コンクリート構造(鉄筋コンクリートとは何か?)



- RC(Reinforced Concrete): 鉄筋コンクリートの略称
- コンクリートは、圧縮力に強いが引張力(圧縮強度の1/10~1/13)には弱い。
- 鉄筋は、引張力に強いが圧縮力に対しては座屈が生じる。
- RCは、コンクリートと鉄筋の長所を生かした複合部材である。



出典: 日建学院・東京鉄骨橋梁HP

112

コンクリート構造(鉄筋コンクリートの特徴)



○長所

- 耐久性、耐火性、耐候性に優れる。
設計・施工が適切であれば、長期に渡り供用が可能で維持管理しやすい。
- 形状・寸法を自由に選択できる。

●短所

- 引張強度が低く、乾燥収縮するため、ひび割れが生じる場合がある。
- 型枠・支保工の準備、コンクリート打設後の養生などが必要である。
- 施工管理、品質管理などの管理項目が多い。



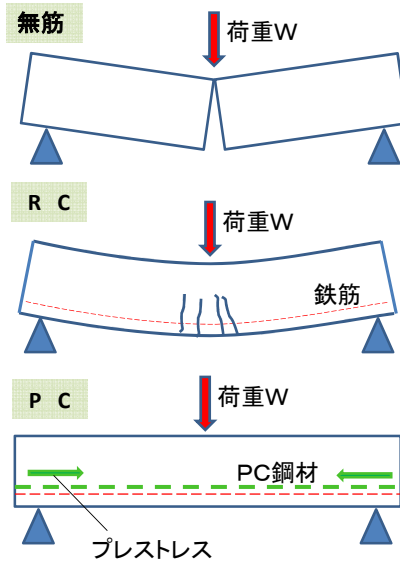
1908年竣工の小樽港北防波堤

113

コンクリートの構造形式(無筋・RC・PC)

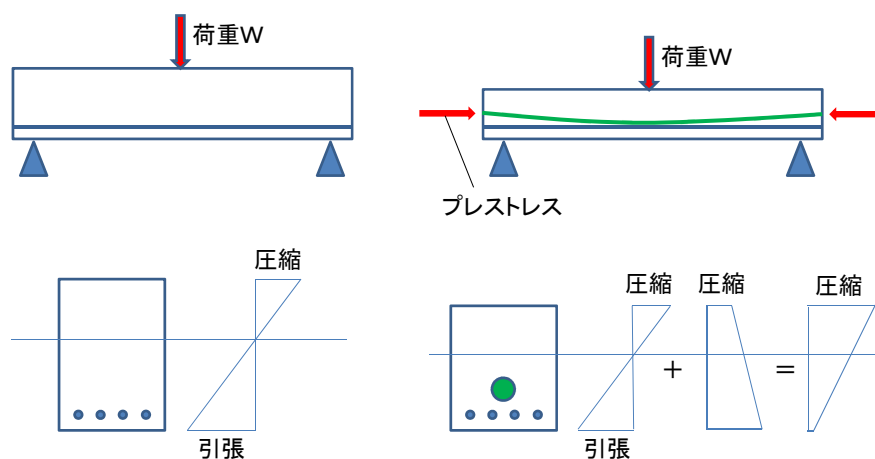


- 無筋構造:
コンクリートのみ
- RC構造:
鉄筋コンクリート
・ひび割れの発生を許容
- PC構造:
プレストレストコンクリート
・ひび割れが発生しない
※ただし、PCの構造の一種として、
PRC構造がある(活荷重でのひび割れ発生を許容)



114

RCとPCの断面応力状態



RCの断面図と応力状態図

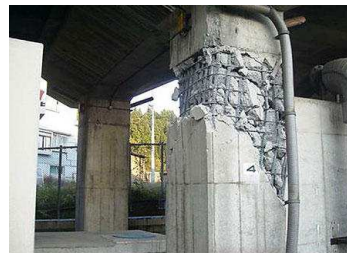
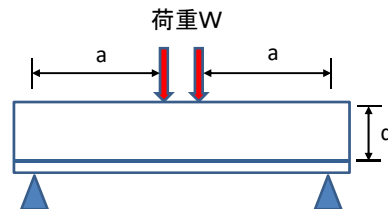
PCの断面図と応力状態図

115

せん断スパン比について



- 荷重作用点から支点までの距離 a をせん断スパンという。
- 部材の圧縮縁から引張鉄筋までの距離 d を有効高さという。
- a/d をせん断スパン比という。
- a/d の値により破壊形式が異なる。
- $1 < a/d < 6$ せん断破壊
- $6 \leq a/d$ 曲げ破壊



116

設計のポイント



- 曲げ引張破壊により終局を迎えるようにし、曲げ圧縮破壊やせん断破壊が起こらないようにする。
- せん断スパン比がRC部材の力学的性状に影響を及ぼす。
- 曲げ応力→主鉄筋 せん断応力→スターラップ・帯鉄筋
- 1986年に、許容応力度設計法から限界状態設計法に変更
 限界状態とは
 ①使用限界状態 ②終局限界状態 ③疲労限界状態
- 構造細目について
 →鉄筋のあき、かぶり、定着、付着に関するルールを規定

117

限界状態設計法



限界状態設計法

施工中および設計耐用期間中の構造物や構成部材ごとに各要求性能に応じた限界状態を設定し、この限界状態に至らないように性能照査を行うことでコンクリート構造物を設計する方法

限界状態とは

①使用限界状態

使用限界状態とは、部材の過度なひび割れ・変形などにより正常な使用ができない状態、または、耐久性を損ねる状態。

②終局限界状態

終局限界状態とは、部材が破壊したり、転倒、座屈、大変形を起こし、構造物としての機能を失う状態。

③疲労限界状態

疲労限界状態とは、変動荷重の繰り返し作用により破壊する状態。

118

コンクリートの変形について

コンクリートの変形 (Vol.2)



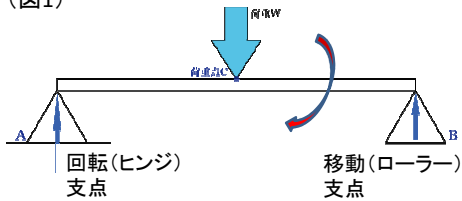
- 変形とは
→ 何らかの要因により、コンクリートの形状に変化が生じる現象
- 変形の分類
 - 「外力」による変形
 - ・ 地盤の沈下・移動・支持力の低下
 - ・ 載荷荷重の増大、構造物の耐力不足
 - ・ 地震の影響
 - 「コンクリートの性質に起因」する変形
 - ・ 温度変化による膨張・収縮
 - ・ 自己収縮
 - ・ 乾燥収縮
 - ・ クリープ

119

単純はり部材に働く曲げモーメントとは

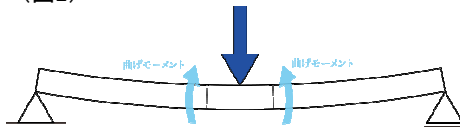


(図1)



- はりに作用する外力(荷重)は、はりを回転させようとする力のモーメントを生み出す(図1)。
- はりの内部では、すべての任意の仮想断面で反作用として逆向きのモーメントが発生する(図2)。
- はりの内部に生まれるモーメントは、はりが回転しないように静止させると同時に、はりを曲げるように働くので曲げモーメントと呼ぶ。
- このとき、両側の支点の曲げモーメントはゼロになる。

(図2)

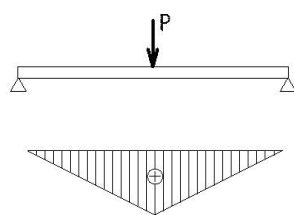


120

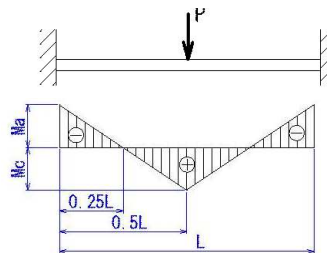
部材に働く曲げモーメント図の例



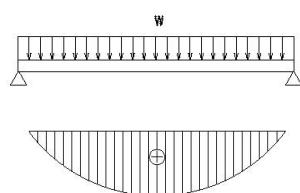
単純支持はり
集中荷重



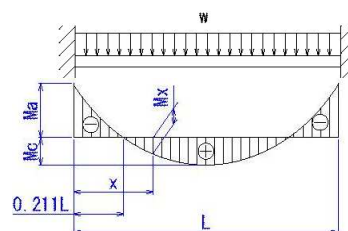
両端固定はり
集中荷重



単純支持はり
等分布荷重



両端固定はり
等分布荷重

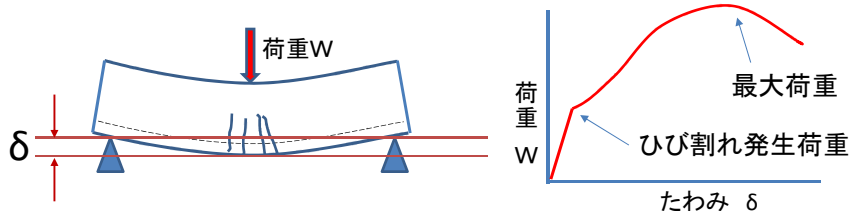


121

コンクリート部材のたわみ



- たわみとは、主に水平部材が荷重の作用により湾曲する際の変位量を示すもので、変形の一つである。
- 作用する荷重(活荷重・死荷重)の大きさや、部材の剛性、スパンの大きさがたわみに強く影響する。
- 剛性の低い部材では、供用中に多数のひび割れが発生し、部材の剛性が一層低下してたわみが大きくなることがある。
- 長期間持続する荷重によるたわみの場合には、初期の弾性変形だけでなく、クリープによるたわみが累加される。

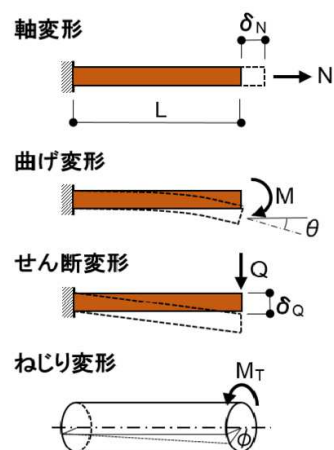


122

剛性について



- 曲げやねじりの力に対する、寸法変化(変形)のしづらさの度合いのこと。力に対して変形が小さい時は剛性が高い(大きい)、変形が大きい時は剛性が低い(小さい)という
- 工学的には単位変形を起こすのに必要な力(荷重/変形量)で表され、フックの法則におけるばね定数も剛性的一种である。
- それぞれの変形に対応して軸剛性、曲げ剛性、せん断剛性、ねじり剛性が存在する。
- 使用している材質の弾性係数、断面積や断面二次モーメントなどの断面性能、および変形する部分の長さや形状などによって定まる。

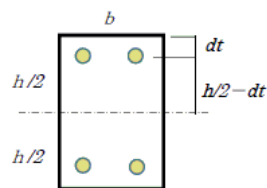


123

曲げ剛性について



- はり部材の曲げ変形のしにくさを示す指標で、部材の断面形状と大きさと決まる断面二次モーメント I と、その材料の弾性係数 E との積 EI で表される。
- 弾性係数とは、フックの法則が成立する弾性範囲における、同軸方向のひずみと応力の比例定数である。
- 断面二次モーメントとは、曲げモーメントに対するはり部材の変形のしにくさを表した量であり、物体の断面を変えると、断面二次モーメントの値も変化するので、構造物の耐久性を向上させる上で、設計上の指標として用いられる。



鉄筋を考慮した断面二次モーメントの式

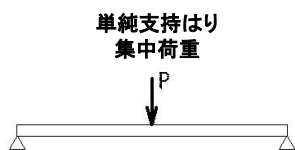
$$I_{rc} = I_o + (n-1) \left\{ I_r + (a_c + a_r) \times \left(\frac{h}{2} - dt \right)^2 \right\}$$

124

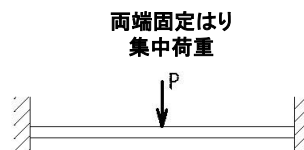
部材のたわみ量について



部材のたわみ量は以下の式で計算できる。



$$\delta = \frac{PL^3}{48EI}$$



$$\delta = \frac{PL^3}{192EI}$$

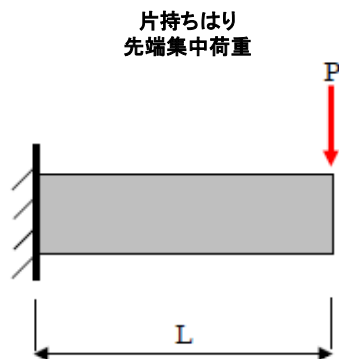
P: 集中荷重
L: スパン長
E: ヤング係数
I: 断面2次モーメント

125

部材のたわみ量について



部材のたわみ量は以下の式で計算できる。

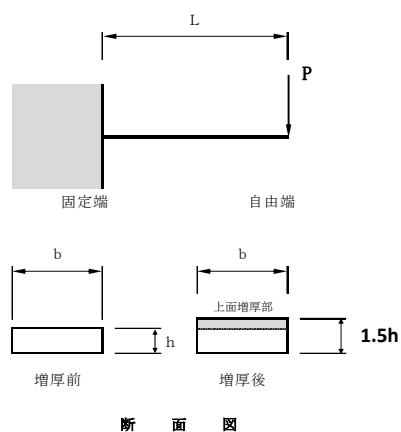


$$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

P: 集中荷重
L: スパン長
E: ヤング係数
I: 断面2次モーメント

126

片持ちはりのたわみ量予測について 事例



Q

片持ち鉄筋コンクリート床版のたわみを改善するために、増打工法を適用して断面厚を大きくした。下図のとおり、増厚後の床版厚を増厚前の1.5倍とした場合、荷重Pによる増厚後の床版自由端のたわみ量が最も近い値はどれか。

なお、既設床版コンクリートと増厚コンクリートは完全に一体化しているものとし、両者のヤング係数も等しいものとする。また、自重、ひび割れ、乾燥収縮およびクリープ等の影響は考慮しないものとする。ただし、片持ち鉄筋コンクリート床版を片持ち梁として考える。

127

片持ちはりのたわみ量予測について 事例



A

自由端の先端に荷重Pが作用した場合のたわみ量は以下の計算のとおり。

・増厚前 $I = \frac{bh^3}{12}$

・増厚後 $I' = \frac{b(1.5h)^3}{12}$

増厚後のたわみ量 δ' を増厚前のたわみ量 δ を用いて表すと

$$\delta' = \delta / (1.5)^3 = 0.3\delta \quad \text{ただし、} \delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

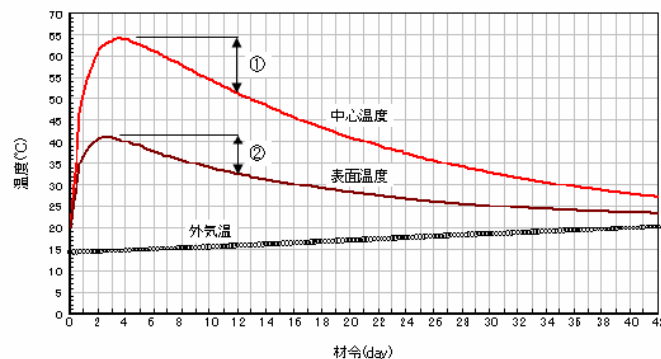
よって、増厚後のたわみ量は増厚前のたわみ量の30%となる

128

温度変化による膨張・収縮



- ・ コンクリートの線膨張係数は、 $7 \sim 13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
- ・ 一般に「温度ひび割れ」というのは、この要因による。



コンクリートの温度履歴の一例

出典：北野技術士事務所

129

自己収縮



- 外部からの水の供給がない場合、セメントの水和反応により、ペースト中の水分が蒸発してコンクリートが収縮する現象。
- 水セメント比、水結合材比が小さいほど、自己収縮が大きい。
- 結合材の比表面積が多いほど、自己収縮が大きい。
- セメント中の、 C_3A 、 C_4AF が多くなると自己収縮が大きくなる一方、 C_2S が多くなると、自己収縮が小さくなる。これは水和反応の速さに関係する。
- 高強度コンクリートの自己収縮ひずみは、 $300 \sim 1000 \times 10^{-6}$ に達することもある。

130

乾燥収縮



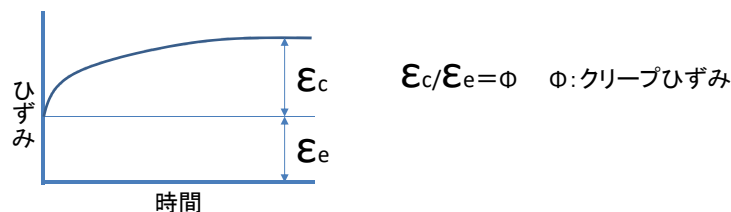
- コンクリート中の水分が蒸発することによって、コンクリートが収縮する現象。
- 水セメント比が大きいほど、コンクリートの乾燥収縮が大きい。
- 単位水量が大きいほど、コンクリートの乾燥収縮が大きい。
- 吸水率の高い骨材ほど、コンクリートの乾燥収縮が大きい。
乾燥収縮・大 砂岩 > 花崗岩 > 石灰岩
- C_3A の含有量が多くなると、コンクリートの乾燥収縮が大きくなる。
- コンクリートの部材厚によっても乾燥収縮量が変わる。
- コンクリートの乾燥収縮量は、 $300 \sim 800 \times 10^{-6}$ 程度。

131

クリープ



- コンクリートに一定応力が持続的に加わるとき、ひずみ（変形）が時間とともに増大する現象。
- クリープは、コンクリート内のゲル吸着水や結晶内水の移動によって起こるといわれている。
- 水セメント比が大きいほど、骨材の弾性係数が小さいほど、クリープが大きくなる。
- PC部材では、PC鋼材により高圧縮応力が常時作用するため、クリープによりプレストレスが減少する。



132

コンクリートの中性化

コンクリートの各種劣化パターン
(Vol.3)



- 大気中の二酸化炭素がコンクリート内部へ拡散することにより、コンクリート中の水酸化カルシウムと反応して炭酸カルシウムを生成し、アルカリ性が喪失する現象。中性化は炭酸化の一つである。
- 鉄筋は、PH12以上では安定。PH11程度以下になると腐食が生じる。健全なコンクリートのPHは12.5程度といわれている。
- 中性化速度に影響を及ぼす要因としては、
 - ①セメントの種類・養生条件
 - ②水セメント比
 - ③湿度や温度などの環境条件
 - ④施工状況や施工欠陥の有無
- 中性化深さは、 $\sqrt{t}$ 則で推定する事ができる。
- 中性化残りにより、鉄筋腐食の有無が推定できる。
 - ①一般の環境の場合 8～10mm
 - ②塩化物を含むコンクリートの場合 20mm程度

133

コンクリートの塩害



- 塩化物イオンにより、コンクリート中の鋼材の腐食が進行し、腐食生成物の体積膨張によるひび割れや剥離、あるいは鋼材の断面減少が生じる現象。
- 塩害の主な要因としては、
 - ①内在塩分(海砂、塩化物を含む混和剤の使用)
 - ②外部供給(海水や凍結防止剤の使用)
 - ③環境の影響 海岸部(飛沫帯と干満帯、海中部の違い)
 - ④コンクリートの配合の影響(水セメント比やセメント種類)
- 鉄筋の腐食が開始される塩化物イオン濃度(腐食発生限界塩化物イオン濃度)は、一般的に 1.2kg/m^3 が目安となっている。
- 塩化物イオンにより鋼材表面の不動態皮膜が破壊されて、腐食反応を起こす。腐食反応には、アノード反応と、カソード反応がある。
- フリーデル氏塩・・・コンクリートに導入された塩化物イオンが、セメント中の未水和の C_3A と反応し、生成した不溶性塩類。
なお、フリーデル氏塩は鉄筋の腐食に関与しない。

134

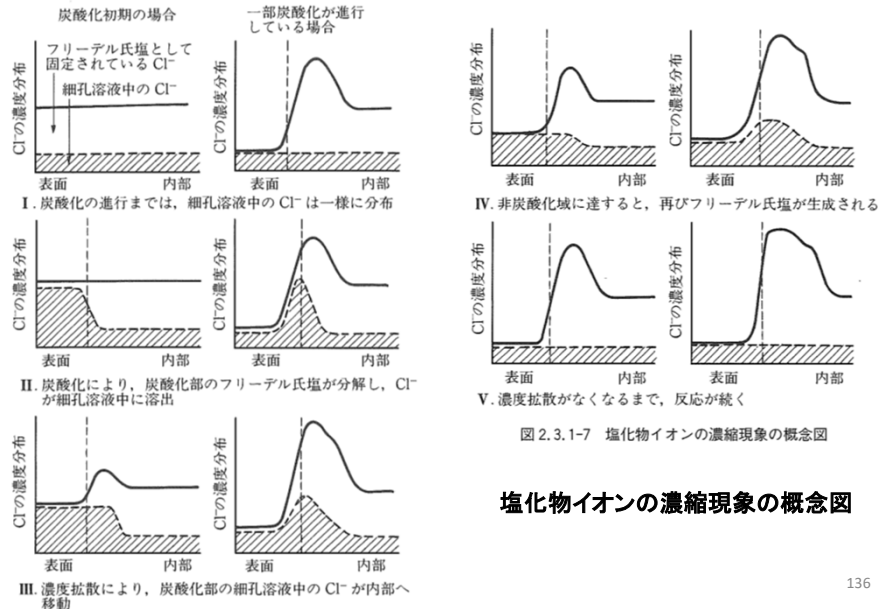
中性化と塩害の複合劣化について



- 複合劣化の進み方
 - ①化学的に不安定なフリーデル氏塩が、二酸化炭素の侵入により、分解され塩化カルシウムを生成し、溶解して塩化物イオンを遊離する。
 - ②遊離した塩化物イオンは、未炭酸化(未中性化)部分に移動し、再びフリーデル氏塩を形成する。
 - ③細孔溶液中のイオン濃度が均一となるまで、イオンの移動とこの反応が継続する結果、コンクリート内部で塩化物イオンの濃縮が起こる。
 - ④コンクリート中で、フリーデル氏塩、エトリンガイトの溶解と再固定化が継続すると、細孔組織をポーラスにするため、コンクリートの透過性を高めてしまう。その結果、塩化物を含むコンクリートは炭酸化が早くなる。
- 塩化物イオンの濃縮が生じている場所は、未炭酸化部である。中性化残リがある程度確保されていても、塩化物イオンの濃縮域が鉄筋のごく近傍まで達していることがあり得る。

135

炭酸化和塩化物イオンの濃縮現象



136

コンクリートの凍害



- ・ 長期間にわたるコンクリートの凍結と融解の繰り返しによって、コンクリートが徐々に劣化する現象。
- ・ コンクリートは、内部の水分が 0°C 以下になると、体積膨張（約9%）する特徴がある。
- ・ 劣化形態としては、ポップアウト、微細ひび割れ、スケーリングがある。
- ・ 凍害の発生要因としては、
 - ① 気象、日射などの環境条件
 - ② 水の供給要因（雨水や川水等）
 - ③ コンクリートの品質
 - ④ 中性化や塩害などにより複合的に生じる場合
- ・ 抑制方法としては、
 - ① 水セメント比の低減
 - ② エントレインドエア（連行空気）の増加
 - ③ 気泡間隔係数を $200\mu\text{m}$ 以下にする など

137

コンクリートのASR(アルカリシリカ反応)



- コンクリート中のアルカリ分(KOH、NaOH)と、ある反応性骨材が化学反応を起こし、コンクリートに有害な膨張を生じる現象。
- 劣化形態としては、ポップアウト、ひび割れ、部材の膨張による外観上の変状がある。例えば、
 - ①コンクリートの弾性係数の低下
 - ②コンクリート表面へのアルカリシリカゲルの滲出
 - ③亀甲状のひび割れや部材軸方向のひび割れの発生
- ASRの発生要因としては、
 - ①コンクリート中のアルカリ量(セメントや外部供給される塩化物)
 - ②骨材中の反応性物質(シリカ鉱物と火山ガラスなど):チャート
 - ③反応性骨材と非反応性骨材との混合比。ペシマム現象
 - ④コンクリートへの水分の供給状況
 - ⑤構造物の寸法・形状
- 抑制対策として、①コンクリート中のアルカリ総量の抑制(3kg/m³以下)、②低アルカリセメントや混合セメントの使用、③表面保護工の実施など。

138

コンクリートの化学的浸食



- 外部からの様々な化学的作用によって、コンクリートの水和生成物の変質または分解が起こり、セメント硬化体としての結合能力が低下する現象。
- 化学的浸食の要因としては、
 - ①酸類
 - ②アルカリ類 水酸化ナトリウムの浸食
 - ③塩類 硫酸塩(ナトリウム、カルシウムなど)の浸食
 - ④油類 遊離脂肪酸を含む油(動植物性油)の浸食
 - ⑤腐食性ガス 塩化水素、フッ化水素、二酸化硫黄、硫化水素の浸食
- 上記要因のいずれの場合も、酸性物質の存在により、化学的浸食が生じる。
- 下水管の劣化が代表的事例のひとつ。
 - ①し尿・洗剤由来の硫酸塩が硫化水素、硫酸に変化する。
 - ②硫酸、硫酸塩の作用により、エトリンガイトが生成しコンクリートが膨張。
 - ③硫化水素がカルシウム化合物と反応してカルシウム塩を生成し、コンクリートを侵食。

139

コンクリートの火害



- コンクリートが火災を受けると、セメント硬化体と骨材が異なる膨張収縮挙動を起こした結果、熱応力によるひび割れやコンクリートの剥落などの劣化を生じる現象。
- 600℃までは、セメントペースト部は収縮、骨材は膨張する。
- コンクリート中の自由水が水分膨張を起こして、内部水蒸気圧が増大した結果、圧縮強度や弾性係数が低下する。特に、500℃でほぼ半減する。
- 火災初期に、コンクリート表層面の剥落による鉄筋を露出させる現象が起きる。この現象を爆裂という。
- 爆裂は、水セメント比の低いコンクリート、含水率の高いコンクリートにおいて発生しやすい。

受熱温度	コンクリートの変色状況
300℃未満	変色無し(表面にスス)
300～600℃	ピンク色
600～950℃	灰白色
950～1200℃	淡黄色
1200℃以上	(コンクリートが溶融)

140

コンクリート部材の鋼材腐食



- コンクリート部材中の鋼材腐食が顕在化している状況は、構造物の何らかの性能が低下しており、腐食の程度によっては、力学的性能の低下にも影響を及ぼしていることを意味する。
- 耐久性および付着強度確保の観点から設定されるかぶりを確保し、適切な使用材料かつ配合のコンクリートを施工して、供用中のかぶりコンクリートを健全な状態に維持することが重要である。
- 鋼材腐食の発生原因には、
 - ①コンクリートの劣化(中性化、塩害、凍害、ASRなど)
 - ②施工によるもの(施工時に設けられた打継目など)
 - ③マクロセル腐食
 - ④異種金属間の電位差の影響や迷走電流による腐食(電食)

141

鋼材腐食の発生原因(1)



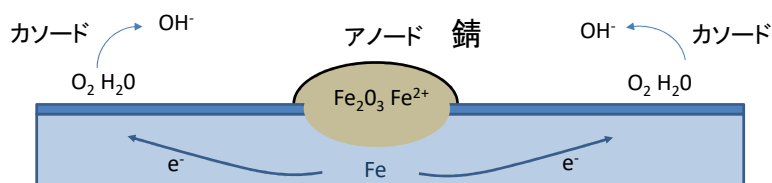
- 中性化、塩害などにより、鋼材(鉄筋)の不動態被膜が破壊され、酸素と水の供給により、鋼材腐食が発生する。
- 不動態被膜とは、 $20 \sim 60 \text{ \AA}$ (10^{-10}) の酸化膜のこと。コンクリートが中性化すると、不動態皮膜が消失する。また、塩化物イオンの侵入によって不動態皮膜が破壊される。
- 不動態皮膜が無くなると、鉄筋表面は活性態になり、酸化しやすくなる。
- 鉄筋内で、アノード(酸化)反応とカソード(還元)反応が起こり、アノード部に錆が生成する。

142

鋼材腐食の発生原因(2)



- ①アノード反応 : $2\text{Fe} \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{e}^-$
 ②カソード反応 : $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$
 ①+② 全反応 : $2\text{Fe} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_2$
 → 錆 (Fe_2O_3) の生成



- マクロセル腐食・・・アノードとカソードの距離が離れている腐食反応
- ミクロセル腐食・・・アノードとカソードが同位置で起こる腐食反応

143

鋼材腐食による錆汁について



- 錆汁の種類としては、
 - ①コンクリート近傍の鋼材（セパレータ、スペーサーなど）の腐食によるもの
 - ②コンクリート中の鋼材（鉄筋、PC鋼材）、重量コンクリートでの骨材（鉄鉱石）の腐食によるものがある。
- エフロレッセンスを伴う場合もあるので、錆汁との違いの見極めが大事。
※エフロレッセンスは、石灰分等の可用成分が水の移動と共に、しみだして固まったもの。
- 鉄筋の腐食条件は、想定される錆の種類や、錆の色調からある程度判断が可能である。

144

鋼材腐食による錆汁について



鉄筋の腐食条件	想定される錆の種類	主な錆の色調
中性化したコンクリート	酸化鉄（Ⅱ,Ⅲ）（四酸化三鉄、マグネタイト、 Fe_3O_4 ）	黒
	無定形オキシ水酸化鉄	褐色
塩化物を含むコンクリート	酸化鉄（Ⅱ,Ⅲ）（四酸化三鉄、マグネタイト、 Fe_3O_4 ）	黒
	α -オキシ水酸化鉄（ゲータイト、 $\alpha\text{-FeOOH}$ ）	黄
	無定形オキシ水酸化鉄	褐色
剥離やひび割れによる鉄筋の露出部	γ -オキシ水酸化鉄（レピドクロサイト、 $\gamma\text{-FeOOH}$ ）	橙
	α -オキシ水酸化鉄（ゲータイト、 $\alpha\text{-FeOOH}$ ）	黄

145

コンクリートの疲労



- コンクリートや鋼材が材料の静的強度に比較して、一般に小さいレベルの荷重作用を繰り返し受けることで破壊に至る現象。
- 疲労劣化の例
 - ①材料レベル
 - ・鉄筋の節やPC鋼材の傷などの局部応力が発生する箇所から疲労亀裂が発生して破断する。
 - ・コンクリートの場合は、遷移期、定常期、加速期でコンクリートのひずみが増加し、破壊に至る。
 - ②構造レベル
 - ・はり部材において、繰り返し荷重により、たわみやひび割れ幅などが徐々に増加する。
 - ・道路橋の鉄筋コンクリート床版において、疲労劣化と床版コンクリートの陥没が発生する場合がある。

146

累積疲労損傷度



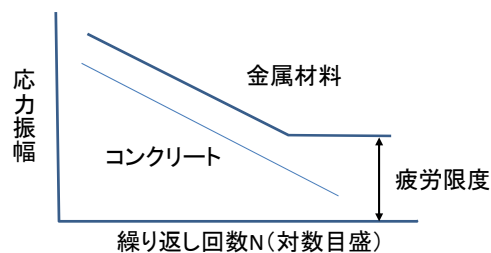
$$M = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} \quad \leftarrow \text{累積疲労損傷度}$$

M: 累積疲労損傷度

n_1 、 n_2 : それぞれの応力度 σ_1 、 σ_2 で繰り返され回数

N_1 、 N_2 : それぞれの応力度 σ_1 、 σ_2 における破壊までの繰り返し回数

- 一般にRCはり部材の200万回疲労強度は、静的強度の60～80%である。
- S-N曲線とは右図をいう。
- 金属材料は疲労限度がある。

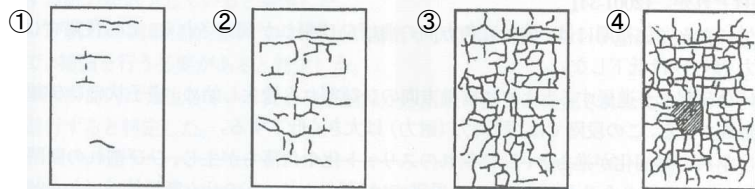


147

コンクリートの道路橋床版の疲労



- 疲労劣化には、①供用条件、②設計、③施工、④環境条件などの原因があげられる。
- 疲労劣化の進行過程は以下のとおりである。
 - ①主に乾燥収縮により、主鉄筋方向に数本のひび割れが入った状態。
 - ②主桁作用により、主鉄筋方向のひび割れが進展するとともに、配力鉄筋方向にも曲げひび割れが進展し始める。
 - ③格子状のひび割れの網細化が進み、ひび割れの開閉やすり磨きが始まる状態。ひび割れのスリット(隙間)化や角落ちが生じている。
 - ④貫通ひび割れで区切られたはり状部材として、輪荷重に抵抗する状態。床版の陥没が発生する段階。



148

コンクリートの道路橋床版の抜け落ち



- 湿潤状態では乾燥状態に比べて約100～300倍の速さで床版の破壊に至ると報告されている。 ※輪荷重走行試験結果より
- 塩害・凍害・ASRなどのコンクリート劣化による床版の損傷を、雨水等の介在で助長させないことが重要である。



149

橋梁の床版防水工の変遷



昭和62年 道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工指針

- 適用範囲は、鋼道路橋のRC床版であるが、コンクリート橋の床版にも必要に応じて参考にする。
- アスファルトシート系防水、アスファルト塗膜系防水について、室内試験における「初期性能」について記載している。
- 施工時点や施工後数年で防水効果が喪失している場合も確認される。

平成14年 道路橋示方書

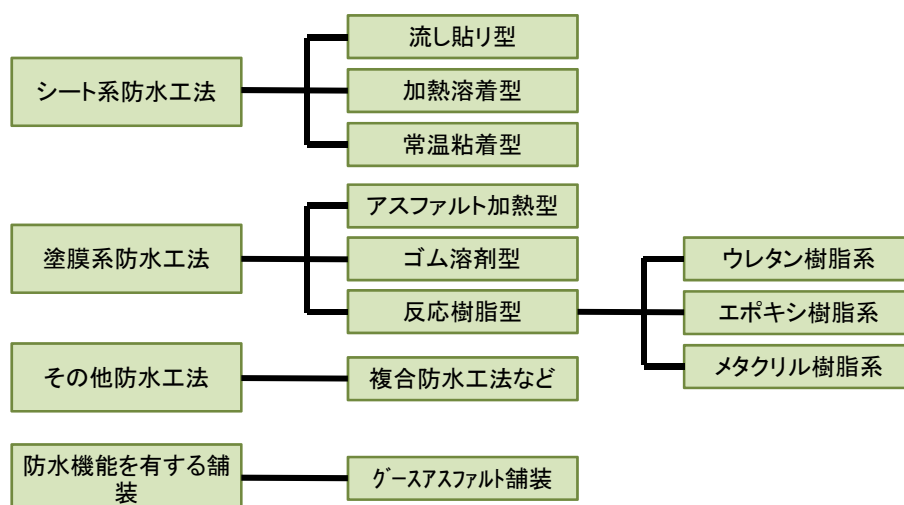
- アスファルト舗装を施工するRC床版には、雨水等の床版内部への浸透を防ぐため、防水層の設置が原則となった。

平成19年 道路橋床版防水便覧

- 先の委員会の成果を踏まえ、道路橋示方書の規定を補完するための技術資料として発刊する。

150

橋梁の床版防水工の種類



151

コンクリート部材の振動



- 振動数・・・単位時間内に繰り返される振動の回数
- 固有振動数・・・物体が自然に振動したときの物体固有の振動数
- 共振・・・作用外力による振動数と、物体の固有振動数の振動数比が1の時の応答状態
- 振動に関する公式
 - ①周期(T)と振動数(F)の関係
$$T = 1/F$$
 - ②固有振動数(W_N)・固有周期(T_N)と、剛性(k)・質量(m)の関係
$$W_N = \sqrt{k/m} \quad T_N = 2\pi / W_N$$
- ひび割れが発生すると
 - ①曲げ剛性が低下 ②振幅の増大 ③固有振動数の低下
- タコマ橋の事故(風琴振動など)

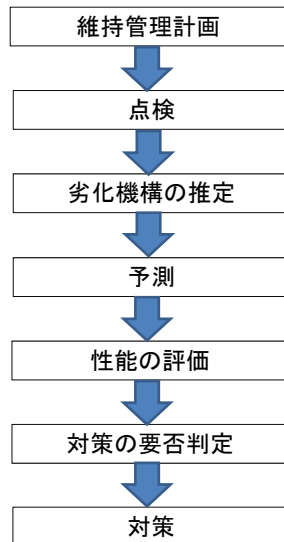
152

コンクリート関係の示方書や書籍の一例



- 土木学会 コンクリート標準示方書
 - ◎基本原則編
 - ◎設計編
 - ◎施工編
 - ◎維持管理編(2018年制定)
 - ◎規準編
- 土木学会 コンクリートライブラリー
 - ◎電気化学的防食工法 設計施工指針(案)
 - ◎表面保護工法設計施工指針(案) など
- 日本道路協会 道路橋示方書
- 日本道路協会 関係書籍
 - ◎道路橋の塩害対策指針(案)・同解説
 - ◎道路橋床版防水便覧 など

153



- 維持管理計画から対策までについて、最新知見も踏まえながら記載されている。
- 中性化や、塩害などの劣化現象に加え、「水掛かり」、「ひび割れ」、「鋼材腐食」についての記述を追加した。
- 構造物の外観上のグレードや劣化の状態に応じて、劣化過程を①潜伏期、②進展期、③加速期、④劣化期と区分している。
- 劣化過程に応じて、点検・調査方法や、標準的な対策工法を記述している。

154

劣化過程の定義(中性化)



【劣化過程の定義】

劣化過程	定 義	期間を決定する要因
潜伏期	中性化によって鋼材に腐食が発生するまでの期間	中性化進行速度と水掛かり
進展期	鋼材腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間	鋼材の腐食速度
加速期	腐食ひび割れの発生により鋼材の腐食速度が増大する期間	ひび割れを有する場合の鋼材の腐食速度
劣化期	鋼材の腐食量の増加により耐力の低下が顕著な期間	

【構造物の外観上のグレードと劣化の状態】

外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	外観上の変状が見られない、腐食開始前
グレードⅡ	進展期	外観上の変状が見られない、腐食が開始
グレードⅢ-1	加速期前期	腐食ひび割れが発生
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの進展とともに剥離・剥落が見られる、鋼材の断面欠損が生じていない
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れとともに剥離・剥落が見られる、鋼材の断面欠損が生じている

引用:コンクリート標準示方書 維持管理編

155

各劣化過程と調査項目の対応の例(中性化)



劣化過程	外観の変状	中性化深さ	鋼材の腐食	鋼材の位置 (かぶり)	環境作用	水掛かり
潜伏期	○	○	△*	○	△	○
進展期	○	△	○	△	△	○
加速期	○	△	○	△*	△	△*
劣化期	○	△	○	△*	△	△*

○優先的に実施する項目、△実施が望ましい項目、△*必要に応じて実施する項目

調査項目	得られる情報の例	主な調査方法の例
中性化に伴う劣化の程度の確認	- 腐食開始時期 - 腐食(腐食のグレード) - 中性化発生の有無 - 腐食速度 - 部材の剛性、耐力 - コンクリートの品質	- 鋼材の位置(かぶり)、中性化深さ - ひび割れ(幅、深さ、密度)、さび汁 - 鋼材の腐食状況(面積・量) - 中性化試験 - 電気化学指標(自然電位法、分極抵抗法、電気抵抗法など) - 鋼材の腐食状況(残存断面積)、たわみ、変位、コンクリート強度、弾性係数 - 反発度法、コア強度(圧縮強度)、中性化深さ、透気法、配合推定法、水分浸透速度係数
中性化に伴う劣化の進行の予測	- 劣化進行速度 - 腐食量(腐食のグレード、腐食速度)	- 温度、湿度、二酸化炭素濃度、水掛かり、日射、含水率 - 電気化学指標(自然電位法、分極抵抗法、電気抵抗法など)

引用:コンクリート標準示方書 維持管理編

156

外観上のグレードと性能低下の要因(中性化)



外観上のグレード	劣化過程	耐力・じん性	変形・振動	剥離・剥落	ひび割れ・汚れ
グレードⅠ	潜伏期	—	—	—	—
グレードⅡ	進展期	—	—	—	—
グレードⅢ-1	加速期前期	—	—	剥離、剥落の発生	ひび割れ・さび汁・鋼材の露出
グレードⅢ-2	加速期後期	—	変形の増大・振動の発生		
グレードⅣ	劣化期	耐力・じん性の低下 ・鋼材断面積の減少 ・鋼材とコンクリートの付着力の低下 ・浮き、剥離によるコンクリート断面の減少	・鋼材断面積の減少 ・鋼材とコンクリートの付着力の低下 ・浮き、剥離によるコンクリート断面の減少		

引用:コンクリート標準示方書 維持管理編

157

外観上のグレードと対策(中性化)



外観上の グレード	劣化過程	点検強化	補修	供用制限	解体・撤去
グレードⅠ	潜伏期	○**	○**		
グレードⅡ	進展期	○	○		
グレードⅢ-1	加速期 前期	◎	◎		
グレードⅢ-2	加速期 後期	◎	◎*	○	
グレードⅣ	劣化期		◎*	○	○

- ◎ : 標準的な対策 (◎* : 力学的性能の回復も含む)
 ○ : 場合によっては考えられる対策
 ○** : 予防的に実施される対策

引用: コンクリート標準示方書 維持管理編

158

外観上のグレードと標準的な工法(中性化)



外観上の グレード	劣化過程	工法例	
		耐力, じん性, 変形, 振動	剥離, 剥落
グレードⅠ	潜伏期	表面処理*(剥落防止*含む), 再アルカリ化*, 増圧*	
グレードⅡ	進展期	表面被覆(剥落防止を含む), 【断面修復】, 再アルカリ化	
グレードⅢ-1	加速期 前期	【電気防食】, 再アルカリ化, 断面修復	表面被覆(主に剥落防止)
グレードⅢ-2	加速期 後期	断面修復	表面被覆(主に剥落防止)
グレードⅣ	劣化期	断面修復, 【鋼板・FRP接着, 巻立て, 増厚】	表面被覆(主に剥落防止), 【鋼板・FRP接着】

- * : 予防的に実施される工法
 【 】: 鋼材腐食速度が大きい場合、腐食量が大きい場合に選定する。
 ※ : 全ての劣化過程において、水処理を併用することは鋼材腐食の進行を抑制するために有効である。

引用: コンクリート標準示方書 維持管理編

159

劣化過程の定義(塩害)



【劣化過程の定義】

劣化過程	定 義	期間を決定する要因
潜伏期	鋼材の腐食が開始するまでの期間	塩化物イオンの拡散、初期含有塩化物イオン濃度
進展期	鋼材腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間	鋼材の腐食速度
加速期	腐食ひび割れの発生により鋼材の腐食速度が増大する期間	ひび割れを有する場合の鋼材の腐食速度
劣化期	鋼材の腐食量の増加により耐力の低下が顕著な期間	

【外観上のグレードと劣化の状態】

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	外観上の変状が見られない、腐食発錆限界塩化物イオン濃度以下
グレードⅡ	進展期	外観上の変状が見られない、腐食発錆限界塩化物イオン濃度以上、腐食が開始
グレードⅢ-1	加速期前期	腐食ひび割れやうきが発生、さび汁が見られる
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生、腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的な剥離・剥落が見られる、鋼材の著しい断面減少は見られない
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れの進展に伴う大規模な剥離・剥落が見られる、鋼材の著しい断面減少が見られる、変位・たわみが大きい

引用:コンクリート標準示方書 維持管理編

160

劣化過程の定義(凍害)



【劣化過程の定義】

劣化過程	定 義
潜伏期	凍結融解作用を受け、スケーリング、微細ひび割れ、ポップアウトが発生するまでの期間
進展期	スケーリング、微細ひび割れ、ポップアウトが発生し、粗骨材が露出、あるいは複数の微細ひび割れが表面に進展するまでの期間
加速期	スケーリング、微細ひび割れが深さ方向に進行し、粗骨材の剥落が発生する期間
劣化期	かぶりコンクリートが剥落し、鋼材の露出や腐食が発生する期間

【外観上のグレードと劣化の状態】

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	凍結融解作用を受けるが、外観上の変状が認められない
グレードⅡ	進展期	スケーリング、微細ひび割れ、ポップアウトが表面に発生
グレードⅢ	加速期	スケーリング、微細ひび割れが深さ方向に進行し、粗骨材の剥落が発生
グレードⅣ	劣化期	かぶりコンクリートの剥落、鋼材の露出や腐食の発生

引用:コンクリート標準示方書 維持管理編

161

劣化過程の定義(ASR)



【劣化過程の定義】

劣化過程	定 義	期間を決定する要因
潜伏期	ASRそのものは進行するものの膨張およびそれに伴うひび割れは発生しない期間	アルカリシリカゲルの生成速度 (反応性珪物の種類とその量, アルカリ量)
進展期	水分とアルカリの供給下において膨張が継続的に進行し、ひび割れが発生するが、鋼材腐食がない期間	アルカリシリカゲルの生成速度および吸水膨張速度 (水分とアルカリの供給)
加速期	ASRによるひび割れが進展し、鋼材腐食が発生する場合もある期間	
劣化期	ひび割れの幅および密度が増大し、部材としての一体性が損なわれる、鋼材の腐食による断面減少が生じる、鋼材の損傷が発生するなどにより、耐力の低下が顕著な期間	アルカリシリカゲルの吸水膨張速度 (水分とアルカリの供給) 鋼材の腐食速度

引用: コンクリート標準示方書 維持管理編

162

劣化過程の定義(ASR)



【外観上のグレードと劣化の状態】

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	ASRによる膨張およびそれに伴うひび割れがまだ発生せず、外観上の変状が見られない。
グレードⅡ	進展期	水分とアルカリの供給下において膨張が継続的に進行し、軽微なひび割れが発生する。変色、アルカリシリカゲルの滲出が見られる場合がある。しかし、鋼材腐食によるさび汁は見られない。
グレードⅢ	加速期	ASRによるひび割れが進展し、ひび割れの幅および密度、範囲が増大する。また、鋼材腐食によるさび汁が見られる場合もある。
グレードⅣ	劣化期	ひび割れの幅および密度がさらに増大し、段差、ずれや、かぶりの部分的な剥離・剥落が発生する。鋼材腐食が進行しさび汁が見られる。外力の影響によるひび割れや鋼材の損傷が見られる場合もある。変位・変形が大きくなる。

引用: コンクリート標準示方書 維持管理編

163

劣化過程の定義(化学的侵食)



【劣化過程の定義】

劣化過程	保護層がない場合の定義	保護層がある場合の定義	期間を決定する要因
潜伏期	コンクリートへ劣化因子が侵入し、コンクリートの変質が生じるまでの期間	保護層さらにはコンクリートへ劣化因子が侵入し、コンクリートの変質が生じるまでの期間	コンクリートあるいはコンクリート保護層中への劣化因子の浸透速度
進展期	コンクリートにひび割れが発生するまでの期間、あるいはコンクリート中の骨材が露出し、剥がれ始めるまでの期間		コンクリートの侵食速度
加速期	コンクリートの侵食深さが増大し、劣化因子が鋼材位置に達して鋼材腐食が開始するまでの期間		コンクリートの侵食速度
劣化期	コンクリートの断面欠損および鋼材の断面減少等により耐力の低下が顕著な期間		コンクリートの侵食速度 鋼材の腐食速度

【外観上のグレードと劣化の状態】

外観上のグレード	劣化過程	保護層がない場合の劣化の状態	保護層がある場合の劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	コンクリートに外観の変状はみられない	保護層に外観の変状はみられない
グレードⅡ	進展期	コンクリート表面が荒れた状態もしくはひび割れがみられる	コンクリート保護層に変状が見られ、内部のコンクリートに変状が生じている
グレードⅢ	加速期	コンクリートのひび割れや断面欠損が著しく、骨材が露出あるいは剥落している	
グレードⅣ	劣化期	コンクリートの断面欠損やひび割れが鋼材位置まで進行し、鋼材の断面減少等により変位・変形が大きい	

引用: コンクリート標準示方書 維持管理編

164

表面保護工法設計施工指針(案) (Vol.5)



- 表面保護工法について、
 - ◎種類
 - ◎要求性能
 - ◎工法の選定・設計～施工～維持管理について掲載
- 表面含浸工法の試験方法(案)を掲載
- 表面保護工法とは、下記のように分類される。

表面処理工法

- ① 表面被覆工法(有機系・無機系)
- ② 表面含浸工法(けい酸塩系・シラン系)
- ③ 断面修復工法

165

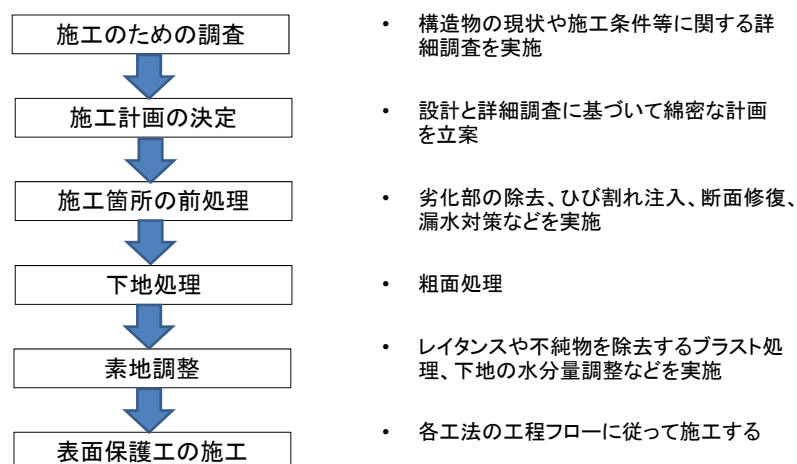
表面保護工法 用語の一例



- 有機系被覆工法・・・被覆を形成させるために用いる材料のうち、有機系樹脂(エポキシ樹脂、アクリル樹脂など)を主成分とするもの。
- 無機系被覆工法・・・被覆を形成させるために用いる材料のうち、有機系樹脂に無機系材料を組み合わせたものを指す(アクリル系PCM、SBR系PCMなど)。
- 表面含浸工法・・・コンクリートの表面から内部に含浸させる材料。一般には、シラン系やけい酸塩系がある。
- 下地処理・・・コンクリート表面の局所的な脆弱部の除去、パテによる空隙の重点、段差や不陸の解消などの物理的処理など、表面保護工を施すコンクリート表面の整形がその主たる目的である。
- 素地調整・・・下地処理を施したコンクリート表面に対して、レイタンスや型枠用剥離剤の除去、水分量調節などの調整を施すこと。表面保護に用いる材料の接着性の向上、含浸性の向上などがその主たる目的である。ブラスト処理やディスクサンダーなどの電動工具や手工具を使用する。

166

表面保護工法の標準的施工フロー



167

表面保護工法に求められる性能と評価指標の例



要求性能に関する項目		評価指標の例
劣化に対する抵抗性	中性化	二酸化炭素透過阻止性
	塩害	塩化物イオン透過阻止性、酸素透過阻止性、透水阻止性
	凍害	透水阻止性
	化学侵食	対象の化学的浸食物質に対する耐久性および透過阻止性
	ASR	透水阻止性、透湿性、ひび割れ追従性
基本性能		付着性、耐候性、浸透性など
施工性		可使時間、温度依存性、下地処理方法、コンクリート含水率の影響度、硬化時間、養生時間など
維持管理		コンクリートの表面状態の確認の容易さ、再塗装のしやすさ
環境側面		粉じん量、有機溶剤量、騒音、廃棄物量など

168

表面保護工法における下地処理方法



- コンクリートのレイタンスや既存塗膜などの接着阻害物は確実に除去する。
- ひび割れや断面欠損部がある場合は、事前に補修する。
- 躯体表面の水分量の測定機器について
高周波式と電気抵抗式の違い
- 下地処理方法
 - 高圧洗浄工
 - ～15MPa・・・表面の汚れなどの清掃に使用する
 - 30～150MPa・・・既存塗膜や脆弱なコンクリート面を除去する
 - サンダーケレン・・・既存塗膜や脆弱なコンクリート面を除去する
 - ブラスト処理・・・既存塗膜や脆弱なコンクリート面を除去する

169

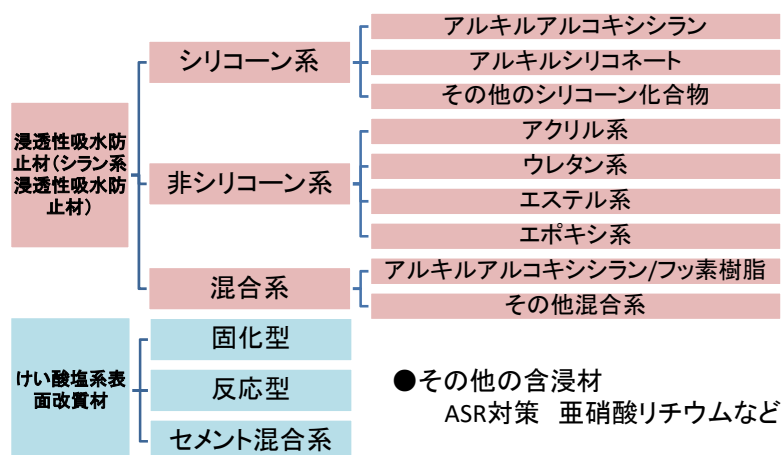
水分計の違い



- 電気抵抗式(左)と高周波式(右)
- 測定面に凹凸がある場合は、高周波式の精度が低い

170

表面含浸工法の分類



171

けい酸塩系含浸材の特徴



けい酸塩系含浸材の例

1) 適用範囲

- ・けい酸質系塗布防水材として建築分野で適用
- ・地下構造物の外壁、床、水槽、ピット(JASS8)

2) 製品タイプ

- ・反応型タイプと固化型タイプ
- ・反応型は打ち込み初期のコンクリートに対する反応性が高い
- ・代表的な固化型けい酸塩成分としては、ケイ酸リチウム

3) 仕様

- ・セメント+けい酸質粉末を混合
- ・けい酸質成分に特殊触媒などが含有された液体タイプが「表面改質材」として登場

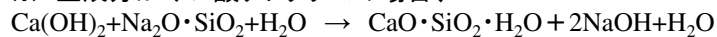
172

けい酸塩系含浸材のメカニズム



- 1) 主成分の「けい酸塩化合物」がコンクリート中に浸透拡散
- 2) 毛細管空隙中の水酸化カルシウム(カルシウムイオン)と化学反応して、針状のけい酸カルシウム結晶を生成
- 3) 毛細管空隙を充填
- 4) 浸透拡散により緻密化する
- 5) 反応は3～6ヶ月続く

※ 主成分がけい酸ナトリウムの場合、



173

シラン系浸透性吸水防止材の特徴



1) 適用範囲

- ・シリコン系撥水材として建築分野で適用
- ・コンクリート打ち放し外壁など

2) 製品タイプ

シランやアルキルアルコキシシランなど

3) 仕様

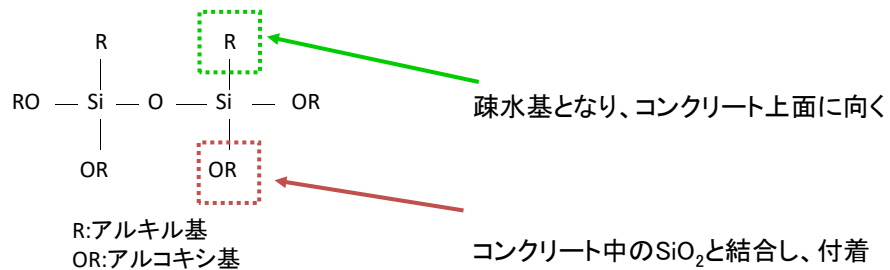
主成分の濃度で仕様が分かれる
主成分濃度が高い→浸透性能が高い
浸透深さがカギ

174

シラン系浸透性吸水防止材のメカニズム



- ・シリコンの疎水基(アルキル基)がコンクリート表面および細孔表面に並ぶことにより、撥水性を付与する
- ・コンクリート表層部の細孔を充填しない→中性化に対しての抑制効果は大きくは期待できない。



175

表面含浸工法のグレード評価



評価項目		グレード		
性能	評価値(%)	A	B	C
透水に対する抵抗性	透水抑制率	80以上	80～60	60以下
吸水性に対する抵抗性	吸水抑制率	80以上	80～60	60以下
透湿性	透湿比	80以上	80～60	60以下
中性化に対する抵抗性	中性化抑制率	30以上	30～10	10以下
塩化物イオン浸透抵抗性	塩化物イオン浸透抑制率	80以上	80～60	60以下

176

表面含浸工法の現状



- 各メーカーにより、性能にばらつきがある。
- 塗布するコンクリートの条件(材齢、表面密実性、コンクリート強度)により、塗布効果が異なる。
- 今後、さらに多くのデータを蓄積する必要がある。
- 劣化種類や状況に応じて使い分ける必要がある。

177

表面保護工法の比較検討の例



項目		表面被覆材	表面含浸材
劣化に対する抵抗性	中性化	◎	△
	塩害	◎	○
	凍害	○	△
	化学侵食	△	—
	ASR	△	△
	乾湿繰返し	◎	○
維持管理における点検性	摩耗	◎	△
	外観維持	—	○

◎: 適用対象(外面からの劣化因子の浸透を遮断する効果)

○: 適用対象(外面からの劣化因子の浸透を抑制する効果)

△: 適用する場合には検討が必要

—: 適用対象外

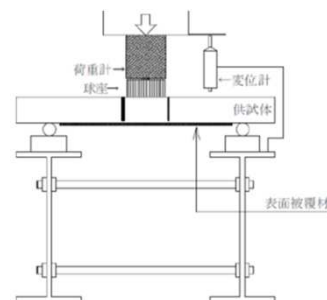
出典: 防水ジャーナル2月号(pp.35~39) NEXCOにおけるコンクリート表面含浸材の活用
(株)高速道路総合技術研究所

178

コンクリートの剥落防止工法



- 炭素繊維, アラミド繊維, ガラス繊維のほか, ビニロン繊維, バサルト繊維などを使用したもの。
- 押抜き強度が代表的な要求性能としてあげられる。
- 繊維シート接着工法のほか, アンカー固定工法などがある。



出典: 土木学会HP



押抜き試験前



押抜き試験中

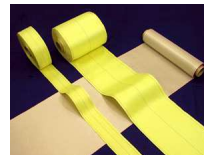
出典: (株)アイゾールテクニカHP

179

コンクリートの繊維補強(連続繊維シート)



- アラミド繊維や炭素繊維などの軽量かつ高強度で耐久性に優れた繊維を補強材料とし、構造物の表面に接着して薄層の補強層を形成して構造物を補強する工法。
- 曲げ補強やせん断補強を行うのが基本である。
- 補強後は断面や荷重の増加はほとんどなく、構造物の使用条件に影響を与えない。
- 重機が不要で溶接などの煩雑な作業がなく、施工が安全かつ簡便に行える。



出典: (株)東レHP, アラミド補強研究会HP



180

連続繊維補強工法の特徴



- 鋼よりも弾性係数の大きい炭素繊維が使用されることが多い。(弾性係数は、炭素繊維>アラミド繊維>ガラス繊維の順)
- アラミド繊維は非伝導性を有する。炭素繊維シートは導電性がある。
- コンクリートからの剥離を防ぐための定着方法に課題がある。
- シートの補強効果については、適用するコンクリート部材の断面形状や寸法、シートの貼付け方法(一面貼付や巻き付けなど)、接着力などにより影響を受ける。
- シートの貼付により、終局荷重やじん性能の向上が期待できる。
- せん断耐力向上のためには、桁側面に接着する。
- コンクリート断面の剛性の向上には効果が少ない。

181

電気化学的防食工法 設計施工指針(案) (Vol.6)



- 電気化学的防食工法の特徴や設計、施工について記載。
- 電気防食工法とは、継続的な通電を行うことによって、コンクリート中の腐食反応を電気化学的に制御し、鋼材腐食による劣化の進行を抑制することで、コンクリート構造物の耐久性を向上させることを目的とした工法。

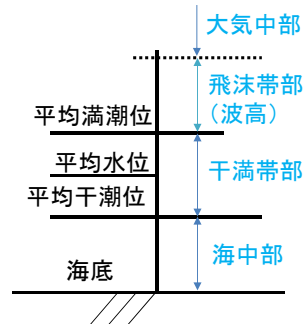
工法名	防食対策	期待される効果	対応可能な劣化
電気防食工法	腐食反応抑制	腐食電池の抑制	中性化・塩害
脱塩工法	鋼材の腐食環境の改善	塩化物イオン濃度の低減	塩害
再アルカリ化工法		アルカリ性の回復	中性化
電着工法	腐食因子の供給低減	ひび割れの閉塞と緻密化	ひび割れ

182

電気化学的防食工法 用語の一例



- 電解質溶液・・・イオンを含み電気を通しやすい溶液の総称。
- 腐食電池・・・腐食環境の差により鋼材表面に生じた電位高低差による(+)、(-)の電池。(+)の部分で腐食(酸化)が生じる。
- 防食電流・・・防食状態を保つために、鋼材に向かって流す電流。
- 電気泳動・・・コンクリートに電流を流すことによって、電解質溶液およびコンクリート中に存在するイオンが電極に向かって移動する現象。
- 電気浸透・・・コンクリートに電流を流すことによって、コンクリート表面から鋼材に向かって電解質溶液がコンクリートの細孔中を移動する現象。

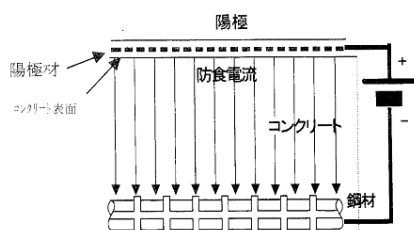


183

電気防食工法



- ・ 鋼材表面での腐食電池形成抑制を目的とした電気化学的防食工法。
- ・ 防食電流を供給することで、鉄筋表面の腐食反応（アノード反応）を停止させる。
- ・ 外部電源方式：外部に電源を設けて強制的に電流を流し続ける方式。
- ・ 流電陽極方式：陽極材にコンクリート内部の鉄筋よりもイオン化傾向が大きい金属（亜鉛など）を用いて、鉄筋と導通させることで防食電流を確保する方式。



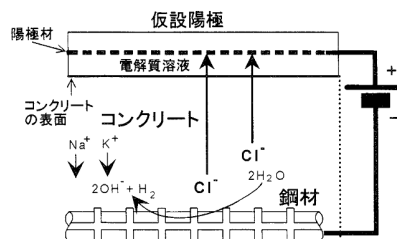
出典：電気化学的防食工法 設計施工指針（案）

184

脱塩工法



- ・ コンクリート中の塩化物イオン量を低減させることを目的とした電気化学的防食工法。
- ・ コンクリート表面に電解質溶液（水酸化カルシウムやホウ酸リチウムなど）を含んだ仮設陽極材を設置して、直流電流を仮設陽極材からコンクリート中の鉄筋に向かって流す。
- ・ コンクリート中の塩化物イオンをコンクリートの外に電気泳動させることによって脱塩ができる。
- ・ 脱塩効果により、鉄筋の不動態被膜の回復を確認できれば完了となる。
- ・ PC鋼材の水素脆化を避けるため、通電制御を適切に行うことが重要。



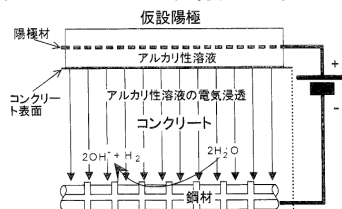
出典：電気化学的防食工法 設計施工指針（案）

185

再アルカリ化工法



- ・ 中性化した(pHの低下した)コンクリート中に、アルカリ性溶液を電気化学的に浸透させ、pHの回復(再アルカリ化)を図ることを目的とした電気化学的防食工法。
- ・ コンクリート表面にアルカリ溶液(炭酸ナトリウムなど)を含んだ仮設陽極材を設置して、直流電流を仮設陽極材からコンクリート中の鉄筋に向かって流す。
- ・ アルカリ溶液をコンクリート中に鉄筋に向かって電気浸透させることによって再アルカリ化ができる。
- ・ 鉄筋の不動態被膜の回復を確認できれば完了となる。
- ・ PC鋼材の水素脆化を避けるため、通電制御を適切に行うことが重要。
- ・ ASRを生じている場合は、劣化を促進させてしまう場合があるので注意。



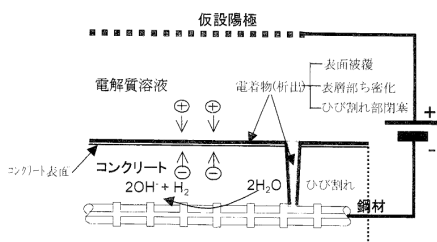
出典: 電気化学的防食工法 設計施工指針(案)

186

電着工法



- ・ コンクリートに発生したひび割れをふさぎ、コンクリート表面の緻密化を図ることを目的とした電気化学的防食工法。
- ・ コンクリート表面に電解質溶液を含んだ仮設陽極材を設置して、直流電流を仮設陽極材からコンクリート中の鉄筋に向かって流す。
- ・ 溶液中のカルシウムやマグネシウム等をひび割れ内部やコンクリート表面に無機系の電着物質として析出させることで、ひび割れが閉塞される。
- ・ ひび割れの閉塞化や、表層部の緻密化による防水性が確認できれば完了となる。



出典: 電気化学的防食工法 設計施工指針(案)

187

電気化学的防食工法 まとめ



工法の選定に際しては、

- ・施工にかかるコスト
- ・継続的な通電の可否
- ・塩化物イオンの再浸透、
- ・再中性化の有無など

を考慮するのが一般的である。

	電気防食工法	脱塩工法	再アルカリ化工法	電着工法
通電期間	防食期間中継続	約8週間	約1～2週間	約6か月間
電流密度	0.001～0.03A/m ²	1～2A/m ²	1A/m ²	0.5～1A/m ²
通電電圧	1～5V	5～50V	5～50V	10～30V
電解質溶液	—	Ca(OH) ₂ 水溶液等	Na ₂ CO ₃ 水溶液等	海水
効果確認の方法	電位または電位変化量の測定	コンクリートの塩化物イオン量の測定	コンクリートの中性化深さの測定	コンクリートの透水係数の測定
効果確認の頻度	数回/年	通電終了後	通電終了後	通電終了後

188

5. 構造物の点検技術, 点検方法



1. 社会資本・維持管理について
2. 法令・安全衛生
- 3-1. 橋梁定期点検要領
- 3-2. 道路トンネル定期点検要領
4. コンクリートに関する基礎知識
5. 構造物の点検技術, 点検方法
6. トンネル
7. 補修・補強工法
8. 事例

189

概 要



- はじめに
- 構造物の点検(調査)手法
- コンクリートの分析・試験と目的
- 非破壊検査法の活用
- 実構造物への適用事例

190

はじめに



- 構造物の点検は、構造物の社会資本としての役割を維持していくために重要な事柄である。
- 点検計画は、構造物の固有条件等を事前に把握し、使用目的や使用状況に合わせ、管理者の判断により適切に策定される。
- 点検に携わる技術者は、適切な点検を行うために「**使用材料と構造に対する基礎的な知識**」のみならず「**点検方法や点検技術に対する知識**」が必要になる。
- 点検方法は、あらゆる条件を勘案し、適切に選定する。また、必要に応じて複数の方法を併用し、**客観的事実に基づく評価と総合的な判断**が重要である。
- 点検技術は、日進月歩の状況に有ることから、情報の収集と学習を怠らなくてはならない。

191

構造物の点検(調査)手法



- 鋼構造物の点検(調査)手法
- コンクリート構造物の点検(調査)手法
- 各種点検手法の紹介
 - ・ 目視点検(目視法)
 - ・ 弾性波法(打音法・超音波法・衝撃弾性波法)
 - ・ 電気化学的計測法(自然電位法・分極抵抗法)
 - ・ コンタクトゲージ法
 - ・ 電磁波レーダ法
 - ・ 電磁誘導法
 - ・ 赤外線法
 - ・ 反発度法
 - ・ 内部観察法

192

鋼構造物の点検(調査)手法



193

コンクリート構造物の点検(調査)手法

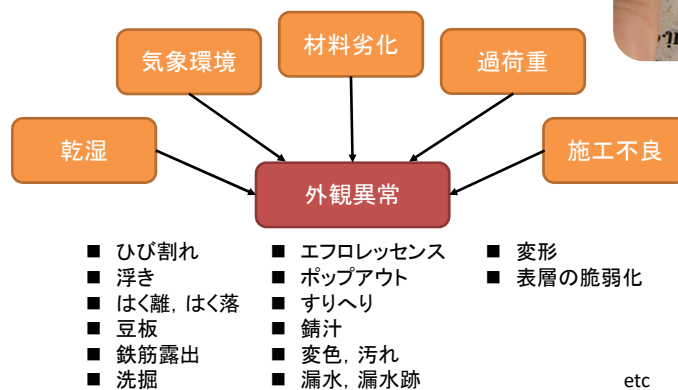
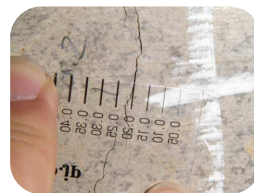


194

目視点検(目視法)



目視は、外観から得られる情報をもとに構造物の状態を把握する、日常点検や定期点検、詳細調査、全てに共通して重要な点検項目である。



195

目視点検の留意点



- 構造物は、多数の部材で構成されており、部位・位置によっても劣化の種類や進行速度は異なる。←劣化機構の知識
- 構造物の用途や要求性能、また立地する環境や作用する荷重が異なることに留意する。←構造性能の知識
- 構造物の形状や環境によって、ひび割れの発生を含む劣化の進行に特徴が生じる。
- ひび割れは、位置や幅、長さだけでなく、さび汚れやエフロレッセンス、ゲルの滲出などその他変状の有無も確認する。
- ひび割れの左右(上下)における面外変形の有無を調べる。
- ひび割れは気象条件によって、その測定値に影響を及ぼす場合がある。
- 漏水は、漏水の色、広がり(範囲)、つらの有無とともに、程度(漏水跡、にじみ、滴水、流下、噴出など)に着目する。

196

弾性波法：打音点検(打音法)



打音法は、コンクリート構造物の表面をハンマーでたたき、発生した反射音の違いによって状態を判断する。コンクリートの浮きやはく離を調べる方法として、幅広く用いられる。

聴音判定表(例)

コンクリートの状態	反射音
健全な場合	高い音(「コツコツ」清音)
浮き・剥離がある場合	低い音(「ポコポコ」濁音)



197

打音点検(打音法)の留意点



- 検出された劣化部はマーキングを行う。はく落等により**第三者被害の恐れがあるものは、点検の際にたたき落としておく**必要がある。
- 反射音のみの判断が困難な場合は、調査面の触診と併用して、打音による振動発生の有無に基づき、聴音による判断を補助する。
- 反射音の判断は、点検者の熟練度や構造及び劣化についての理解度によっても左右される。
- 近年では、集音マイクや音響分析を併用し、機械にて一定の基準による判断・評価を行う手法もある。

198

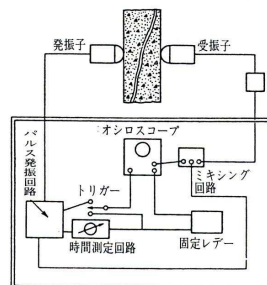
弾性波法：超音波法



圧電素子などを用いた発振子・受振子をコンクリートに当て、発振した超音波を受振子で受振したときに得られる受信波形をもとに、超音波の到達時間やその媒体の伝播速度を算出し、コンクリートの強度、ひび割れ深さ及び内部欠陥などを評価するものである。



超音波測定器(ティコ)



機器構造図

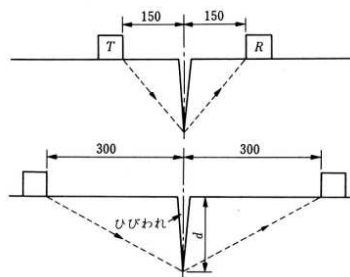
199

【超音波法】 ひび割れ深さの推定



< BS法 >

- ひび割れ開口部を中心として、発振子及び受振子を等距離150mmと300mmで設置する。
- ひび割れを挟んで送信した縦波がひび割れの先から散乱し、受信側へと到達した伝播時間を各距離で測定し、得られた伝播時間 T_1 、 T_2 からひび割れ深さを求める。
- ひび割れから探触子までの距離を100mmと200mmとして求める方法を修正BS法という。



BS法 模式図

$$\text{ひび割れ深さの推定式 } d = 150 \cdot \sqrt{\frac{4T_1^2 - T_2^2}{T_2^2 - T_1^2}}$$

T_1 : ひび割れから150mmの伝播時間
 T_2 : ひび割れから300mmの伝播時間

BS方式 : BS(英国規格1969)4408(Recommendations for on-destructive methods of test for concrete)で推奨されている方法。

200

【超音波法】 コンクリートの品質確認



- ・ 対向する面に発振子・受振子をそれぞれ設置し、透過する超音波の伝播速度を求めることにより内部の品質、欠陥の有無を調査する。
- ・ 一般的にコンクリートの伝播速度は、内部に品質を低下させるような空隙等が存在した場合、健全部と比較して音速値が20%から30%低下する。

JCI規準集(公益社団法人 日本コンクリート工学会)
 コンクリートの品質と伝播速度の関係の目安

伝播速度算出式

$$V = L/T$$

V : コンクリートの伝播速度 (m/s)

L : 伝播距離 (m)

T : 伝播時間 (s)

音速 (m/sec)	評 価
4570以上	優
3660～4570	良
3050～3660	やや良
2130～3050	不良
2130以下	不可

201

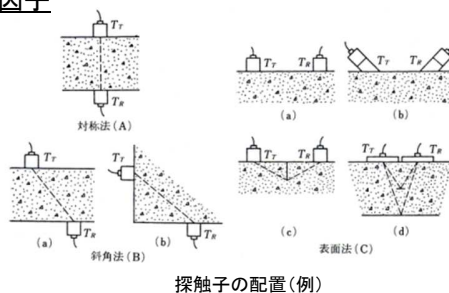
超音波伝播速度測定の留意点



コンクリートの品質と伝播速度の関係は、多種多様なコンクリートや劣化を受けたコンクリートに対して十分な研究や検証がされているとは言えない。そのため、あくまでも目安とされている。

超音波伝播速度に影響を及ぼす因子

- ◆ 含水率（内外部）
- ◆ 圧縮強度（強度発現状況）
- ◆ コンクリート密度
- ◆ コンクリート表面状況（粗さ）
- ◆ 内部空隙（空隙度合）



202

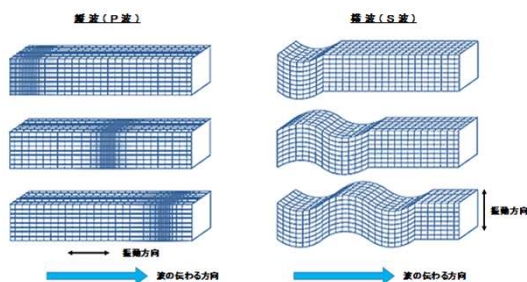
弾性波法：衝撃弾性波法



衝撃弾性波法は、コンクリート表面からハンマー等の機械的な衝撃力を加え弾性波を発生させ、コンクリート中を伝播した弾性波をコンクリート表面に設置した振動センサにより受信し、その弾性波の様々な特性を解析して評価を行うものである。

衝撃により発生する弾性波

- ◆ 進行方向に平行に振動する圧縮波(P波)
- ◆ 進行方向と直角に振動するせん断波(S波)
- ◆ 表面を鉛直方向に振動する表面波(R波)



圧縮波(P波)の伝播速度が評価として主に利用されている。

203

【衝撃弾性波法】 測定方法



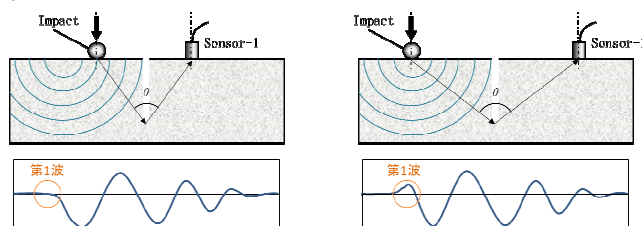
ひび割れ深さの評価

< 多点測定による伝搬時間差法 >

- ひび割れを挟んだ2点での縦弾性波の伝搬時間差を2点の距離を複数点設定して測定し、2点の距離と伝搬時間差との関係からひび割れ深さを算出する方法。

< 直接回折波法 >

- ひび割れを挟んで打撃点と受信センサーを設置し、両者の距離を変化させながら測定波形の第1波を観測。ひび割れの先端を回折した弾性波の立ち上がりの変化に着目し、回折角度が 90° となる設置点を把握する方法。



204

【衝撃弾性波法】 測定方法



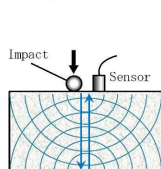
< 伝搬時間差を利用した測定法 >

- 異なる位置に設置した二つの振動センサを用いて、伝搬した弾性波の波形を計測し、2点間距離とそれぞれの立ち上り到達時間の差(伝搬時間差)から伝搬速度を算出する。

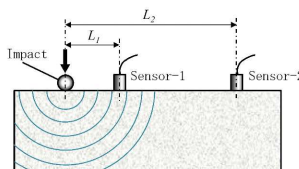
< 多重反射の周波数特性を利用した測定法 >

- 衝撃力により入力された弾性波が励起され、コンクリートと異なる材料の境界面において多重反射により共振が始まり、この1次モードでの共振周波数と既知の多重反射する境界面間の距離の2倍(1往復伝搬距離)との積により、弾性波伝搬速度を求める。

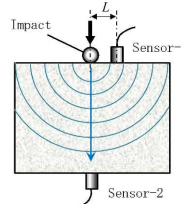
・多重反射法



・伝播時間差法(表面弾性波速度測定法)



・伝播時間差法(透過法)



205

衝撃弾性波法の留意点



- ・ 衝撃弾性波法で対象としている周波数帯域は、数kHz～数十kHz程度と、超音波法よりも低い。そのため、コンクリートの非均質性に起因した弾性波の減衰・散乱の影響を受けにくく、**比較的大きな構造物への適用が可能**である。
- ・ コンクリートの部材厚さや内部欠陥評価、新設構造物におけるコンクリートの圧縮強度評価方法と多岐にわたり活用されている。
- ・ コンクリートの**弾性係数が低下すると、弾性波伝搬速度も低下**する。ただし、弾性係数が同程度であれば、内部の空隙率の影響は低い。つまり、弾性係数が低下していない内部欠陥等については、弾性波伝搬速度の差による検出は困難である。
- ・ 弾性波伝搬速度は、コンクリートの密度によって変化し、一般的に**含水率が低下すると弾性波速度も低下**する。
- ・ コンクリートの材料劣化が進行した実構造物への衝撃弾性波法の適用事例は、他の非破壊試験方法に比べ多いものの、いまだ十分な検証がなされているわけではない。

206

電気化学的計測法：自然電位法



腐食により変化する鉄筋の電位を測定し、鉄筋が腐食しているかの可能性を判断する。1977年にASTMに規格化され、(社)土木学会「JSCE-E601 コンクリート構造物における自然電位測定方法」が基準化されている。

【鉄筋の腐食】

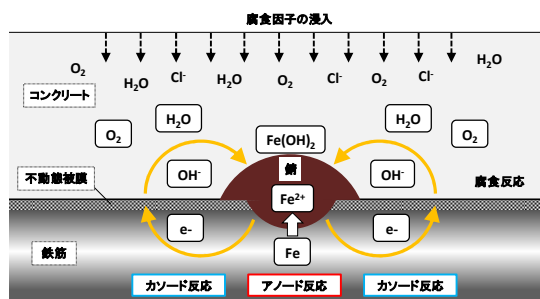
アノード反応

金属原子がイオン化し、電子を放出する酸化反応

カソード反応

電子を受取り、水および酸素と反応する還元反応

溶出した鉄イオンは水酸化イオンと反応して水酸化鉄や含水酸化鉄等となり、錆が生成される。



207

【自然電位法】 照合電極



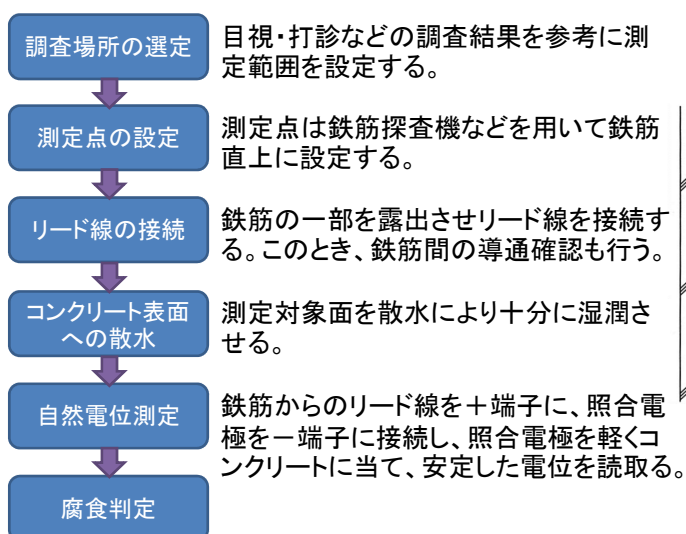
コンクリート中の鉄筋が腐食すると、アノード反応により鉄筋電位が低下（卑な方向へ変化）する。そこで、照合電極に対する鉄筋の電位を測定することにより、鉄筋腐食の進行を推定する。

照合電極の種類

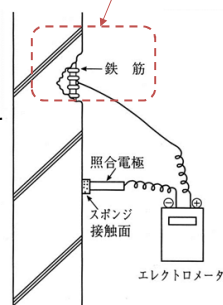
照合電極	略称
飽和硫酸銅電極	CSE
飽和塩化銀電極	Ag/AgCl
鉛電極	PRE
カロメル電極（飽和）	SCE

208

【自然電位法】 測定方法



※一部微破壊を伴う調査法



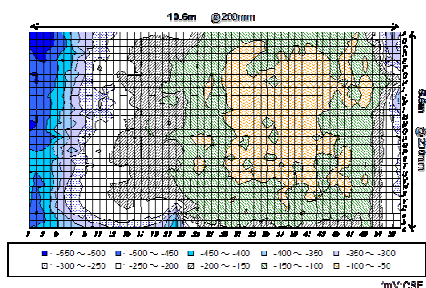
209

【自然電位法】 腐食判定



測定された自然電位に基づき、腐食の有無(可能性)についての判定を行う。

なお、判定は既往の規格に準拠して行う。また、半径10cm以内で測定された自然電位の差が大きくなるほど腐食の度合いが高くなり、自然電位の等高線密度が高い谷部で腐食起点が存在することが多いと言われている。



ASTM規格・BS規格 腐食判定一覧(照合電極:CSE)

	ASTM規格*1	BS規格*2
自然電位 E(mV)	腐食確率 P(%)	腐食確率 P(%)
E>-200	90%以上の確率で腐食なし	5%以下の確率で腐食あり
-200~-350	不確定	50%
-350≥E	90%以上の確率で腐食あり	90%以上の確率で腐食あり

210

自然電位法の留意点



- 各規格を目安とし、**構造物ごとの状況に則した判定を行う**必要がある。
- 500mV程の卑な値でも腐食が発生していない場合もあるため、卑な値を示した箇所や、確認が必要な箇所を選定し、はつり調査を行い、実際の腐食状況を踏まえて判定する。
- 自然電位測定に影響を及ぼす因子が多く存在することに留意する。

自然電位測定に影響を及ぼす因子

- ◆ 含水率
- ◆ 抵抗率
- ◆ 含有塩分量
- ◆ 中性化深さ
- ◆ 浮きの有無
- etc

211

電気化学的計測法：分極抵抗法



分極抵抗法は、腐食電流の流れやすさの指標となる分極抵抗を測定し、**腐食速度を推定**する。この方法は、鋼材の腐食速度と分極抵抗の逆数が比例関係にあること、つまり腐食反応に対する反応抵抗が大きいほど腐食反応が生じにくいことを利用している。

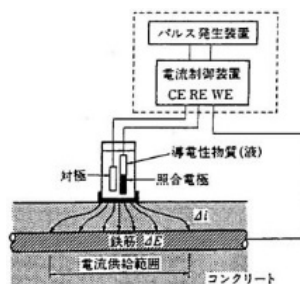
【分極抵抗測定方法】

直流抵抗分極法

微少な直流電流 (i) を鉄筋に通電し、その時の電位変化量 (ΔV) から分極抵抗 ($\Delta V/i$) を算出する。

交流インピーダンス法

低周波数から高周波数の交流電流を通電し、両周波数におけるインピーダンス (抵抗) の差を分極抵抗とする。分極抵抗とコンクリート抵抗とを分けて測定することが可能であるため、コンクリートの状態による影響を除去することができる。直流抵抗分極法と比較し、腐食判定制度は向上するが、測定に長い時間が必要となる。



212

分極抵抗法の留意点



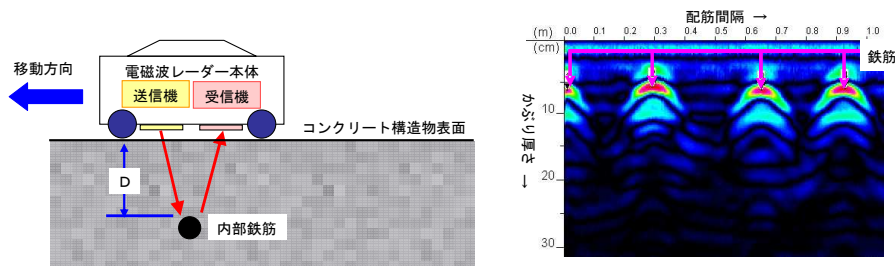
- 鉄筋の配筋を調査の上、鉄筋の交差部を避けた鉄筋直上とする必要がある。
- 腐食速度を予測する場合、分極抵抗値の経時変化を見る必要があるため、定期的な測定が必要になる。
- 市販計測器毎に計測値が相違する場合がある (計測の難しさが影響)。

213

鉄筋探査 ～電磁波レーダ法～



構造物の鉄筋が設計通り配筋されているかどうか、また設計かぶり厚さが確保されているかどうかを把握するため、NDIS 3429「電磁波レーダ法によるコンクリート構造物有の鉄筋探査方法」により非破壊で鉄筋の配筋間隔・かぶり厚さを測定する。



電磁波レーダ法の測定原理

送信機から電磁波をコンクリート構造物に向けて放射すると、内部に浸透した電磁波はコンクリートと電気的性質が異なる鉄筋、空洞などから反射され、再び受信機で受信する。この往復の伝搬時間（T）がほぼ等しい位置に電気的性質が異なる鉄筋、空洞が存在することになる（鉄筋位置の検出）。このとき下式により反射物体（鉄筋、空洞）までの距離（D：鉄筋コンクリートのかぶりに相当する）が計算される。

コンクリート中の電磁波の速度をVとすると $V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}}$ C：空中での電波の速度
 ϵ_r ：コンクリートの比誘電率

従って、反射物体までの距離D（m）は、 $D = V \frac{T}{2}$ で求められる。



214

電磁波レーダ法 [探査装置]



探査装置はアンテナ部及び演算処理部から構成されている。

表 代表的な探査装置と機器仕様

型 式	製 造 元	仕 様
NJJ-200 ハンディサーチ 	日本無線(株)	送信出力：約10V(パルス出力) 画像処理：リアルタイム表面波処理 かぶり厚さ：5～300mm 表面方向分解能：75mm以上の間隔 データ保存機能：メモ리카ード2GB(スマートフォン内臓) 構 造：簡易防滴構造 電 源：バッテリー動作
SIR-EZ ストラクチャスキャン 	GSSI社	送信出力：約10V(パルス出力) 画像処理：リアルタイム表面波処理 測定深度：4～450mm ピッチ：かぶり：ピッチ=1:0.23 データ保存機能：SDメモ리카ード 構 造：簡易防滴構造 電 源：バッテリー動作

215

【電磁波レーダ法】特 徴



- 構造物の片面より探査
- 金属・非金属の探査が可能(コンクリートと比誘電率の差が大きいほど検出しやすい)
- 深さ15センチ～2m程度まで探査可能(電磁波の周波数によって異なる)
- 一般的に浅い範囲を対象とした場合、検出分解能が良く、深い範囲を対象とした場合は検出分解能が悪い
- 埋設物のかぶり深さを推定可能
- 鋼繊維や金属のファイバーを混入したコンクリートは測定できない
- 2層目以降の鉄筋判定は困難な場合が多い
- 内部に空気層(ひび割れ)、水分が多い場合、探査精度が低下
- 鉄筋径は原則推定不可能

216

【電磁波レーダ法】周波数と対象深度

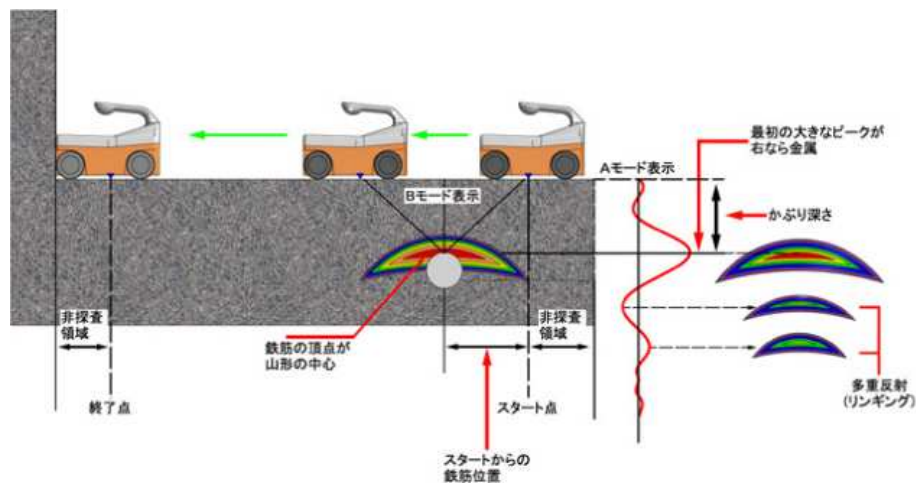


探査周波数(アンテナ)と深度の関係

中心周波数	探査深度	適用対象
2600MHz	0.2m以内	鉄筋コンクリート (一般構造物の配筋や空洞)
2000MHz	0.25m以内	
1600MHz	0.35m以内	
900MHz	0.6m以内	地中探査(浅埋設管や表層の空洞)
400MHz	1.0m以内	高厚コンクリート(トンネル内空や護岸空洞)
270MHz	2.0m以内	地中探査(埋設管、空洞や緩み)
200MHz	2.0m程度	

217

電磁波レーダ法



電磁波レーダ法の概要

218

電磁波レーダ法 [用語及び定義]



表 主な用語および定義一覧

鉄筋探査	鉄筋位置・間隔及びかぶり厚さの探査
鉄筋位置	鉄筋のコンクリート表面への投影位置
鉄筋間隔	コンクリート部材内にお互いに平行に配置された鉄筋の中心間の距離
かぶり厚さ	コンクリート表面から対象とする鉄筋表面までの最短距離
比誘電率	媒質の誘電率と真空の誘電率の比
基準線	測定位置の座標を定めるための基準となる線
走査線	探査装置を走査する線

引用規格 JIS A 0203, JIS G 3112, JIS G 3117, JIS Z 2300

219

電磁波レーダ法 [探査装置の点検]



●定期点検

定められた期間ごと又は日常点検において異常が確認された場合に行う。

定期点検は、装置製造者又はその代理者に依頼して行う。

●日常点検

探査装置が正常に作動することを作業開始前、作業中、作業終了後に確認する。

日常点検は、探査技術者が適宜行う。

(探査技術者:探査装置及び探査原理に加えて鉄筋コンクリート材料及び構造に関する知識を有する者)

220

電磁波レーダ法 [探査方法]

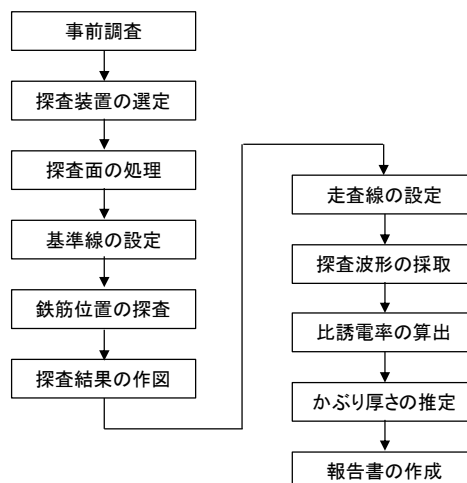


図 電磁波レーダ探査フロー

221

電磁波レーダ法 [探査方法]



●事前調査

事前調査を行い、対象とするコンクリート構造物の構造形式・形状・寸法・配筋などの測定条件を確認し、計測計画を立案する。

コンクリートの材料には、鋼繊維補強コンクリートのように電磁波レーダによる鉄筋探査の妨げとなるような材料が使用されている場合もあるため、コンクリートの配合なども確認するとよい。また、配管などの埋込み金物がある場合には、鉄筋と誤って判別する恐れがあるため、事前に埋込み金物の有無を確認しておく。補修・補強が行われている場合は、形状・寸法が変更されていることがあるため、資料を収集して確認を行う。

●探査装置の選定

探査目的及び対象とするコンクリート構造物の測定条件などから、適切な探査装置を選定する。その際、校正証明書や点検記録を確認し、探査装置に不具合が生じているものを使用しない。

222

電磁波レーダ法 [探査方法]



●探査面の処理

探査面(コンクリート表面)の金属、水分など、測定に影響を与えるものが存在する場合にはこれらを除去する。

探査面が平滑ではない場合や土砂などの堆積がある場合、探査装置のエンコーダ(車輪)の滑り及び空転により距離測定に誤差が生じることがあるため、探査面の走査に影響をあたえるものが存在する場合にはこれらを除去する。

●基準線の設定

対象とするコンクリート構造物の形状・寸法を踏まえ、探査を行う際の基準位置を設定する。

223

電磁波レーダ法 [探査方法]



● 鉄筋位置の探査

探傷面上に探査機を走査し、得られた波形から鉄筋位置を
読取り、マーキングを行う。

留意事項

①電磁波レーダ法は、電磁波が比誘電率の異なる物体の境界面に反射する性質を利用した方法であるが、探査面に金属が存在する場合には、電磁波は金属面で反射してしまいコンクリート内部へは伝搬しない。

②電磁波レーダ法は、鉄筋からの反射波画像が放物線状になることを利用し、反射時間が最短になる位置から鉄筋位置を判別する。そのため、鉄筋位置の探査には鉄筋前後の画像が必要となる。仮に探査範囲の端部に鉄筋が存在した場合、鉄筋範囲内だけを走査対象とすると探査範囲端部に存在する鉄筋を見逃す恐れがある。このため鉄筋位置走査線は、走査線内に探査範囲を含むよう走査線及び測定起終点を設定する。つまり、スラブと壁、柱と梁などの隅角部では、探査装置が隣接するコンクリート表面にあたってしまうため、電磁波が送受信できない範囲では探査することができない。

③探査装置のエンコーダ(車輪)の滑り及び空転により距離測定に誤差が生じることがある。そのため、走査終了時に探査装置の走査距離と走査線の実測距離との比較を行い、その距離の差が誤差範囲内であることを確認する。また、複数回探査による再現性の確認も有効と言える。

電磁波レーダ法 [探査方法]



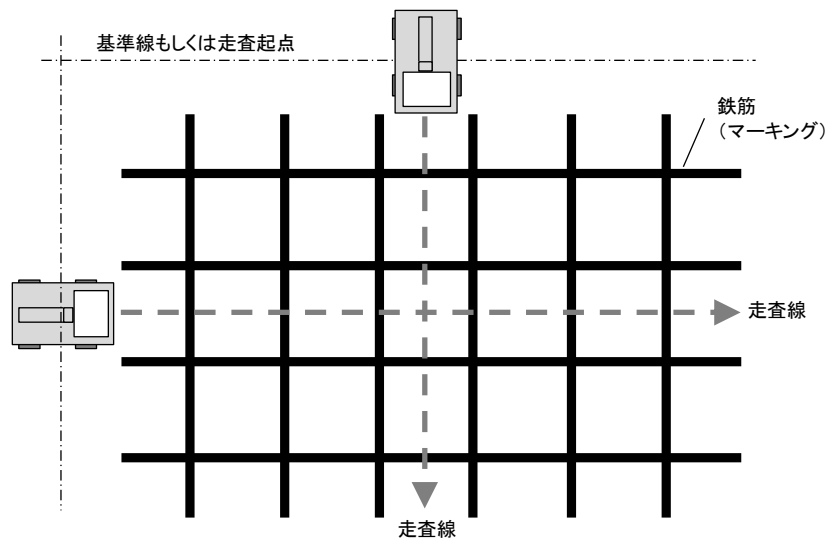
● 探査結果の記録・作図

鉄筋位置のマーキング点を結び、配筋マップを作図する。配筋マップから配筋状態を確認し、各鉄筋マーキング位置の基準線からの距離を測定、記録する。

● 走査線の設定

配筋マップから、鉄筋間の中間かつ測定対象鉄筋に直交するようにかぶり厚さ探査のための走査線を設定する。これは、走査線に平行な鉄筋近傍で走査した場合には、鉄筋の影響を受け、鉄筋の判別が難しくなるためである。

電磁波レーダ法 [探査方法]



226

配筋調査例



配筋調査後、テープ
やコンベックスを当て、
撮影しておく整理し
やすい。

227

電磁波レーダ法 [探査方法]



● 探査波形の採取

走査線上に探査装置を走査し、探査波形を採取してデータを保存する。この際に最も注意すべき点は、アンテナを探査面から浮かせたり、探査面状を滑らせたりせずに、探査面に対して平行に走査することにある。

● 比誘電率の算出

比誘電率の算定方法は、複数の方法が確認されており、いずれも検証された方法を用いて算定されたものであればよい。代表的な比誘電率の算定方法としては、「鉄筋径法によるコンクリート内部の比誘電率分布推定方法及びかぶり厚さ計算方法」や、「実測法による比誘電率推定方法」がある。前者は、「非破壊試験によるコンクリート構造物中の配筋状態及びかぶり測定要領・平成24年3月；国土交通省大臣官房技術調査課」に採用され、土木研究所ホームページ上で解析プログラムが提供されている。

228

電磁波レーダ法 [探査方法]



実測法による比誘電率推定方法

1) 比誘電率推定方法

実測法は、鉄筋のかぶり厚さ、部材の背面エコーなどの寸法を実測し、探査装置の設定誘電率と推定値ならびに実測値から比誘電率を推定する方法である。

2) 比誘電率を求める位置の選定

かぶり厚さを求める範囲の中央付近を選定する。

3) 対象寸法の計測

比誘電率を求める位置の寸法計測は以下による。

- 探査装置の比誘電率を任意に設定し、計測を行って、対象寸法を推定する。
- 鉄筋の実かぶり厚さを用いて比誘電率を求める場合は、探査された鉄筋位置に小径コアやドリルで削孔して鉄筋を露出させ、コンクリート表面から対象とする鉄筋上面までのかぶり厚さを実測する。
- 部材の背面からの反射深さを用いて比誘電率を求める場合は、開口部などを利用して対象とする部材厚さを実測する。

4) 比誘電率の計算方法

比誘電率 ϵ_m は、次式により計算する。

$$\epsilon_m = \epsilon \times \frac{D^2}{D_m^2}$$

ϵ : コンクリートの比誘電率[※]

D : 対象寸法の推定値[※]

D_m : 対象寸法の実測値[※]

229

電磁波レーダ法 [探査方法]



その他留意事項

探査面にモルタル、タイルなどの仕上げ材がありこれらを除去できない場合には、仕上げ材とコンクリートの比誘電率が異なるため、かぶり厚さの推定は困難である。特に雨掛り部にあるモルタル仕上げは、含水状態の影響が大きいため比誘電率が変化しやすく、かぶり厚さの推定では誤差が大きくなることに注意する必要がある。

また、脱型直後、雨天直後など、コンクリート内に水分が多く含まれている場合、測定が困難になったり比誘電率が異なることにより測定誤差の要因になったりする場合がある。

● かぶり深さの推定

計測された画像及び反射波形から、反射波形が最少となる位置を鉄筋位置とし、その時間と比誘電率からかぶり厚さを算定する。波形が見えにくい場合は、探査装置や解析ソフトにてデータ処理を行い、波形を見やすくしたうえで、反射時間と位置を求める。

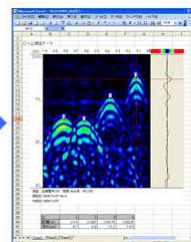
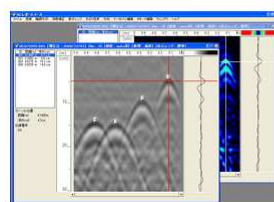
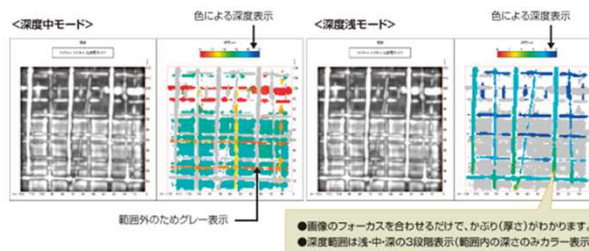
探査装置本体で、鉄筋位置及びかぶり厚さがデータ表示される場合は、それを利用してもよく、算出もしくは推定された比誘電率に設定し、再度鉄筋のかぶり厚さを読み取る。

230

データ編集ソフト



連続カラー表示と深さ範囲外のグレー表示(例)



231

電磁誘導法

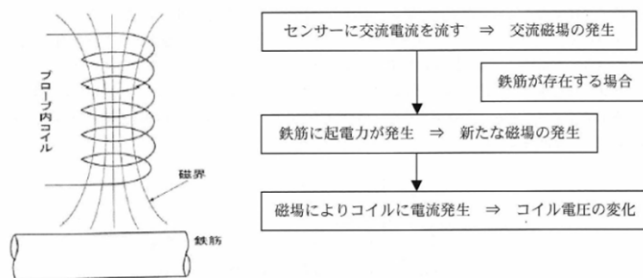


コンクリート中の強磁性体(鉄筋)を対象にそのかぶり深さや径を探索する。

【探査原理】

コイルに交流電流を流すと、コイル中および周辺に交流磁界が発生する。この交流磁界の影響範囲内に導体が存在すると、導体内に交流磁界を打ち消すような渦電流が誘導される。

電磁誘導法は、この渦電流を検知してコンクリート内部に存在する鉄筋の位置や径などを推定する。



232

【電磁誘導法】 特 徴



- 鉄筋や電管などの強磁性体の探査が可能
- 非磁性体の探査は不可能(空隙等)
- 電磁誘導法による測定機器には「渦電流の変化により検出する方式」と「センサーの電圧変化により検出する方式」がある
- 鉄筋の位置、かぶりが測定でき、鉄筋径の推定が可能(誤差有)
- 測定誤差・径推定誤差は、かぶりの深い箇所や鉄筋が密集している箇所で顕著
- 鉄筋径が既知で、かぶり浅いほど測定精度が良い
- 測定位置近くに対象外の鉄筋がある場合、実際のかぶり厚さよりも小さく測定されるため、近接鉄筋の影響を補正する。
- 適用可能深さは、大凡10cm以内(鉄筋径よる)



渦電流方式 測定機器



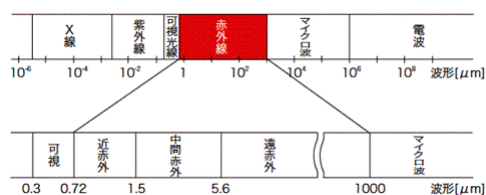
電圧変化方式 測定機器

233

赤外線法



あらゆる物体の表面から表面温度に応じた輻射エネルギー（赤外線）が放射されていることを利用し、対象物体の表面から放射される輻射エネルギー量（赤外線）可視化することで、構造物表面の温度分布や温度差からコンクリートや仕上げ材の浮き、表層部の空洞などを判別する。

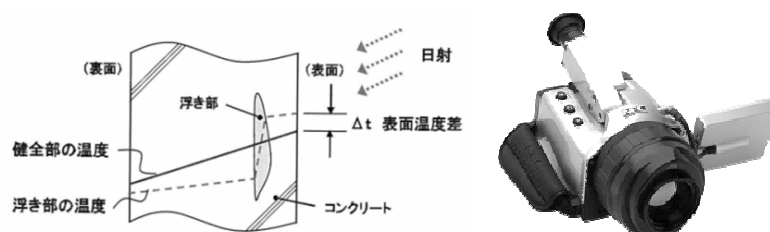


234

【赤外線法】 調査原理



浮きや剥離すると、その裏面にわずかな空気層ができる。この空気層により、表面と内部との間の熱伝導率が小さくなる。したがって、外部から熱が与えられた場合、健全部と比べ温度変化が大きく、速く表れることになる。そこで、外気や日射による温度差を利用し、外気温上昇時・降下時での温度分布・温度変化や、差から変状の有無を判断する。



235

【赤外線法】 条件確認



- 赤外線法は、種々な条件に左右され易い調査法であるため、構造物の状態や周囲の状況を確認し、調査する必要がある。

被体の状態	構造物の高さ	見上げ角が大きいと、天空が反射しやすい
	被体の凹凸	出隅、入隅、凹凸などの不連続部、曲面、隣接構造物などによって日射が当たらない部分では、日射熱が期待できない
	被体の汚れ	汚れによる輻射率と日射吸収率の違いにより、表面温度に差が現れる
	被体の濡れ	雨上がり後に吸水したり、浮き部分に水が浸入すると日射が当たっても低温のままである
周囲の状況	日射の遮蔽物	近接する構造物により日陰になる部分があるか確認する
	被体前面の遮蔽物	樹木等があると、影に隠れる部分は調査不可能

236

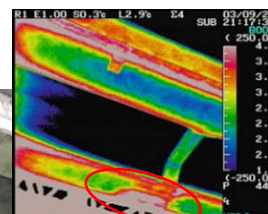
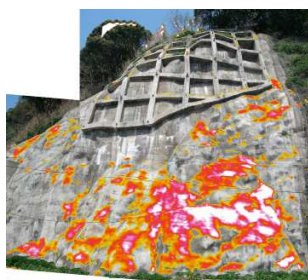
【赤外線法】 浮き・剥離の判定



同一面において日中の剥離部が高温で現れる画像及び夜間の剥離部が低温で現れる時間帯の画像をそれぞれ撮影し、温度差画像を作成する。温度差が強調されている箇所を浮き・剥離部として判定する。

解析画像の種類(例)

- ◆ 高温時熱画像: 温度上昇時の撮影画像
- ◆ 低温時熱画像: 温度降下時の撮影画像
- ◆ 差減算熱画像: 上記の温度差を表した解析画像
「高温時熱画像」－「低温時熱画像」



パッシブ法

237

反発度法(圧縮強度推定)

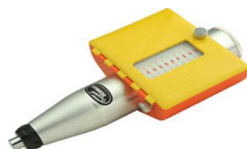
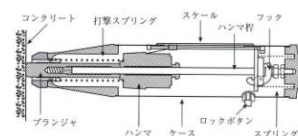


コンクリート表面をテストハンマーで打撃し、その反発硬度により圧縮強度を求める。強度によってコンクリートの反発度が変わることを利用した方法である。

JIS A 1155:2012 コンクリートの反発度の測定方法

JSCE-G 504:2013 硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方(案)

土木研究所 テストハンマーによる強度推定調査の6つのポイント



238

試験機器の種類



・普通コンクリート用

シュミットハンマー N型



・高強度コンクリート用

シュミットハンマー NR型



DIGI SCHMIDT 2



測定範囲：10～70 N/mm²、衝撃エネルギー：2.207 Nm

・低強度コンクリート用(若材齢時、脱型時用)

シュミットハンマー P・PT・PM型



P型：5～30 N/mm²
PT型：0.2～5 N/mm²
PM型：タイルやブロックなどの目地部
衝撃エネルギー：0.883 Nm

・岩盤用

KS型



測定範囲：5～496 N/mm²
衝撃エネルギー：2.207 Nm

239

機器点検と測定箇所選定



JIS A 1155 : 2012 コンクリートの反発度の測定方法 より抜粋

機器点検

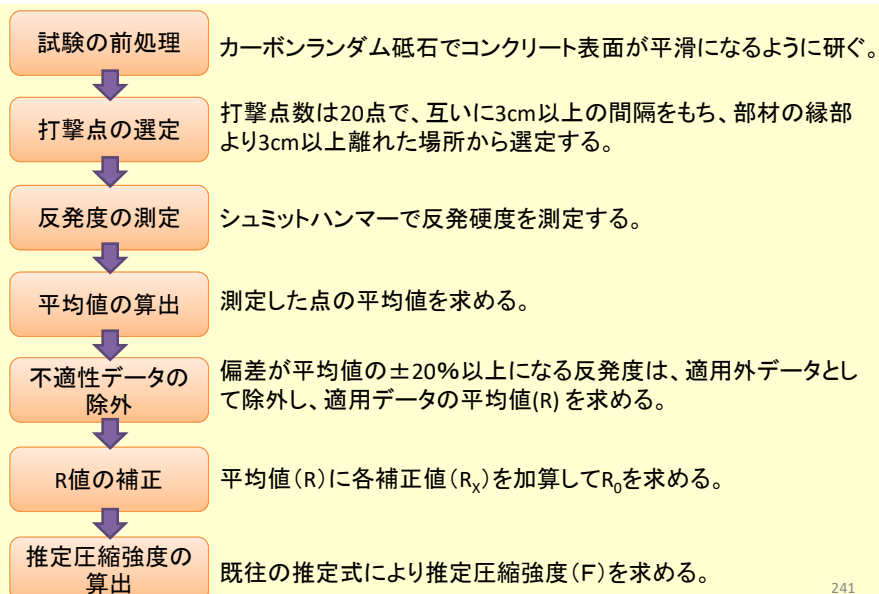
- 測定前及び一連の測定の後に、点検を行う。ただし、打撃が500回を超える場合には、500回の打撃ごとに1回は点検を行う。
- 点検は、テストアンビルを打撃してその反発度を測定する。テストアンビルを設置は十分に堅固な場所とする。
- 製造時の反発度から3 %以上異なっているものは、測定に用いてはならない。

測定箇所の選定

- 厚さが100 mm以上をもつ部材、一辺の長さが150 mm以上の断面をもつ部材の表面とする。
- 部材の縁部から50 mm以上離れた内部とする。
- 表面組織が均一で、かつ平滑な平面部とし、凹凸のある部分を避ける。

240

試験手順 JSCE-G 504



241

反発度の補正



「測定値R」は各種補正値を加算し、基準反発度とする。
ただし、測定機器や規格により補正の考え方は異なることに注意する。

補正の種類

- ◆ 打撃角度による補正
- ◆ 含水状態による補正
- ◆ 呼び強度による補正
- ◆ 粗骨材量による補正
- ◆ セメント量による補正
- ◆ セメント種類による補正
- ◆ 骨材の最大寸法による補正

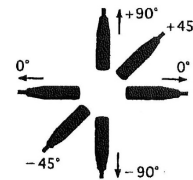
打撃角度による補正値一覧

R \ a	+90°	+45°	-45°	-90°
10	—	—	+2.4	+3.2
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7

材齢による補正値一覧(土木研究所)

材 齢	材齢低減係数 α
9日以前	適切な評価が困難なため、実施しない
10日	1.55
20日	1.12
28~91日	補正なし
92日以降	補正なし

材齢10~28日までの間で、上に明示していない場合は、前後の補正値を比例配分して得られた補正値を用いる。



242

圧縮強度の推定



材料学会式

$$F = (-18.0 + 1.27 \times R_0) \times \alpha$$

F : テストハンマー強度 (N/mm²)

R_0 : 基準反発度

α : 材齢補正

建築学会式

$$F = (9.8 + 0.72 \times R_0) \times \alpha$$

F : テストハンマー強度 (N/mm²)

R_0 : 基準反発度

α : 材齢補正

SI単位変換

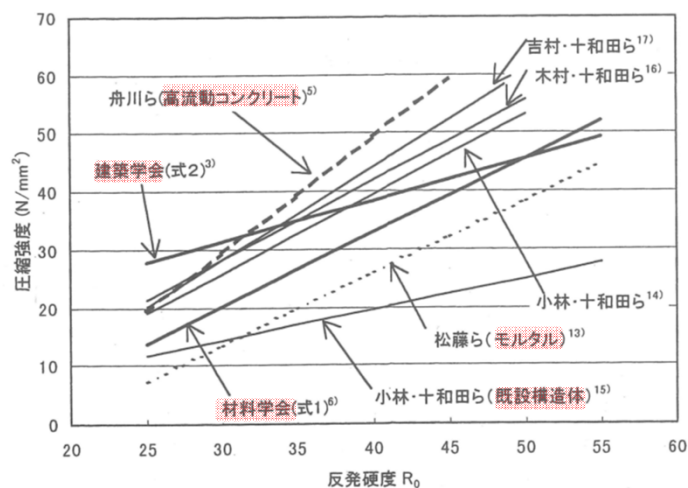
$$F(\text{kgf/cm}^2) \times 0.098 = F(\text{N/mm}^2)$$

【材齢低減係数 α 】

若材齢のコンクリートは低い反発度を示し、年数を経過したコンクリートは、炭酸化により高い反発度を示すことがあることから、ドイツ規格に基づき提唱された。しかし、これまでの研究の成果では材齢補正を使用しても必ずしも強度推定の精度は向上するとは言えないことがわかったため、**若材齢以外の材齢補正を行わない場合も多い。**

243

圧縮強度推定式の特徴



244

反発度法の留意点



- 表面(表層部)の凸凹・付着物の影響を大きく受ける。
- 打撃は測定面に対し垂直に与える。
- 打撃角度や試験時の材齢、表面状態などのより各種補正が必要となる。打撃条件、コンクリート表層部の品質などによって大きく影響を受けるため、内部のコンクリートの強度を精度よく求めることは困難。
- 既往の文献によって推定式は数種類あり、推定式の選定によっても差が生じる。
- 骨材による影響を考慮する。粗骨材の種類および粗骨材量に影響される。軽量骨材が使用されたコンクリートは普通骨材が使用された場合と比較して同一反発硬度時の圧縮強度がやや大きくなる。
- 粗骨材量が少ない場合にも圧縮強度が大きくなる。高流動コンクリートでは、粗骨材かさ容積が小さいことから、普通コンクリートと比較して反発硬度に対する圧縮強度が大きい。

245

標準化への変遷と課題



国内で古くから様々な研究が行われ強度推定式や補正係数を提案



標準化



- 1958年 日本材料学会式を発表
- 名古屋大学・九州大学・立命館大学などで推定方法を研究
- 東京都材料試験所が独自の換算式提案
- 1983年 日本建築学会 マニュアルを発刊
- 1999年 土木学会 JSCE-G 504に土木学会式を規定 (SI単位変更)
- 2001年 国土交通省 国官技第61号を通達
重要構造物の28日強度をテストハンマーにより測定することを義務付け
- 2003年 JIS A 1155 規格
- 2004年 NEXCO コンクリートの施工管理要領に圧縮強度の管理方法として採用
- 2003年 JIS A 1155 規格

しかし、推定精度は必ずしも十分とは言えない

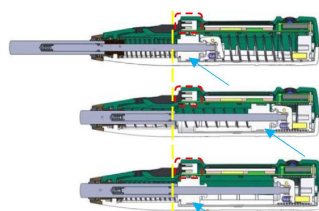
特に高強度コンクリートについては適用が困難

246

【新たな測定法】シルバーシュミット

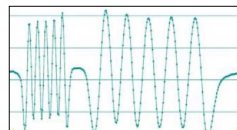


反発速度比式のリバウンドハンマーが新たに提案



□ フォトセンサ
— インパクト部
← ハンマー

反発速度比式ハンマーの計測場所



フォトセンサで得られた波形 例

ハンマーがフォトセンサの前を通過することで波形を捉える構造となっている。
波形例の前半波形がインパクト前の速度、後半波形がインパクト後の速度となり、反発速度比(Q値)は下式で求められている。

$$Q = 100 \cdot \frac{\text{ENERGY restored}}{\text{ENERGY input}}$$

Q 値が、インパクト直前の位置に取り付けたフォトセンサにより、光学的にハンマーのインパクト前後の通過スピード比として表示されるため、インパクト直前まであるいは直後以降の抵抗の影響を無視できる。

リバウンドハンマーのような角度補正が不要

247

シルバーシュミット 機器



型 式	Nタイプ	Lタイプ
衝撃エネルギー	2.207Nm	0.735Nm
強度推定範囲	10-100N/mm ²	
ハンマー重量	135g	
サイズ	55×55×255mm	
重量	570g	
メモリー	最大4,000点 (99ファイル)	
バッテリー	5,000打点/回	
外部出力インターフェイス	USB	
環境温度	0℃～50℃	



- ①本体
- ②収納ケース
- ③USBケーブル
- ④磁石
- ⑤電源アダプター
- ⑥ストラップ
- ⑦チャーク
- ⑧取扱説明書
- ⑨転送ソフト

反発速度比式ハンマーの構成部品

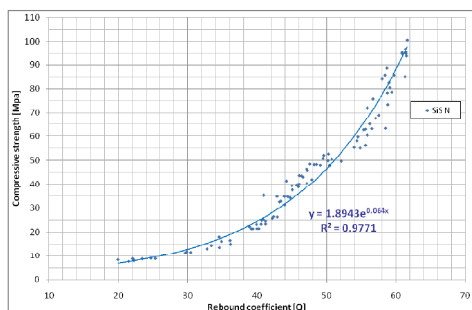
248

反発速度比と強度の相関



この試験機はヨーロッパで開発されたのち、ドイツのBAM(ドイツ連邦材料研究所)において性能が検証されている。
BAMでは反発度法の高強度域への適用性を視野に入れた実験が行われ、**反発速度比(Q 値)と強度の関係に非常に高い相関があることが確認されている。**

Conversion curve for SilverSchmidt ST/PC Type N (Valid range 20-62Q, 10-100 MPa)



Q値と圧縮強度の関係(10～100N/mm²)

NEXCOの平成29年度基準改定
「コンクリート施工管理要領」に
新しいコンクリート圧縮強度非破壊
検査機器の導入として採用

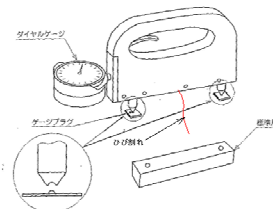
249

コンタクトゲージ法



アルカリ骨材反応の経年的な進展状況の観察などに多く用いられている。ひび割れを挟む形でゲージプラグをあらかじめ貼付けておき、ゲージプラグ間を定期的に測定する。

モルタル及びコンクリートの供試体の長さ変化試験方法としても「JIS A 1129-2」に規定されている。



測定器：コンタクトストレインゲージ



【測定の留意点】

一般的にひび割れ幅の伸縮量に影響を与える因子「外気温」、「コンクリート表面温度」なども同時に計測する。また、ひび割れ形状などにより統計した測定値にばらつきが生ずることがあるため、ペーパークラックスケールやクラック幅測定器を補足的に使用されている。



250

内部観察法



コンクリートの一部を微破壊してコンクリート内部の状況を直接観察する。

使用機器：ファイバースコープ、小型カメラ、ボアホールカメラ等

用 途：トンネル背面観察

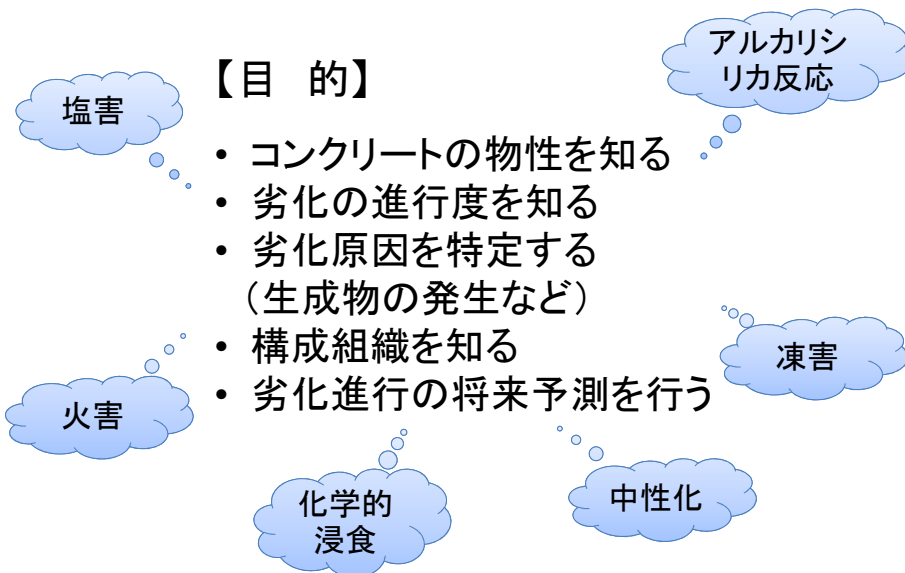
シース管内のPC鋼線充填(腐食)状況観察

ボーリング孔内観察



251

コンクリートの試験・分析



252

コンクリートの試験・分析方法



主なコンクリート試験・分析

- 圧縮強度試験
- 静弾性係数試験
- 中性化試験
- 促進膨張量試験
- 塩化物含有量試験（電位差滴定法）
- SEM-EDS分析
- EPMA分析
- 偏光顕微鏡分析

253

圧縮強度試験



構造物に作用する圧縮力を受け持つコンクリートにとって、圧縮強度はとても重要な物性である。
構造物からコンクリートコアを採取、整形した供試体を用いて試験される。

- JIS A 1107:2012 コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法
- JIS A 1108:2018 コンクリートの圧縮強度試験方法

圧縮強度

$$f_c = \frac{P}{\pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

f_c : 圧縮強度 (N/mm²)
 P : 最大荷重 (N)
 π : 円周率
 d : 供試体の直径 (mm)

見掛け密度

$$\rho = \frac{m}{h \times \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

ρ : 見掛け密度 (kg/m³)
 m : 供試体の質量 (kg)
 h : 供試体の高さ (m)
 d : 供試体の直径 (m)

254

圧縮強度試験 供試体寸法と補正



コア供試体の寸法

直径 : 粗骨材の最大寸法の3倍以上

高さ : 直径比1.9-2.1を原則とし、1.0を下回ってはならない

$$f_{CR} = f_c \times k$$

f_{CR} : 補正後の圧縮強度 (N/mm²)
 f_c : 補正前の圧縮強度 (N/mm²)
 k : 補正係数

高さと直径との比 h/d	補正係数 k
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

255

静弾性係数試験



コンクリートの静弾性係数は、静的な圧縮力を受けるコンクリートの縦方向の弾性係数を指し、構造物の固有周期、柱・梁などの軸方向変形及び曲げ・せん断変形、床のたわみ量などを算出する場合に必要な部材剛性を決定する重要な物性である。

構造物からコンクリートコアを採取、整形した供試体を用いて試験され、コンクリートに荷重をかけたときに生じる応力とひずみの関係から求める。

□ JIS A 1149:2017 コンクリートの静弾性係数試験方法

静弾性係数

$$Ec = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \times 10^{-3}$$

Ec : 静弾性係数 (N/mm²)

S_1 : 最大荷重の1/3の応力 (N/mm²)

S_2 : 供試体の縦ひずみ 50×10^{-6} の応力 (N/mm²)

ε_1 : 応力 S_1 により生じる供試体の縦ひずみ

ε_2 : 50×10^{-6}

256

中性化試験



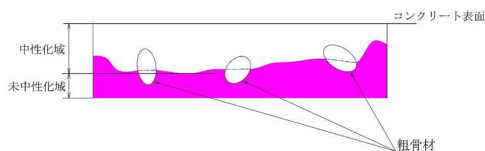
本来、コンクリート内の鉄筋は強アルカリで保護され、不導体被膜が形成されている。しかし、大気中の炭酸ガス(二酸化炭素等)の影響でコンクリート中の水酸化カルシウムが炭酸化し、コンクリート中のアルカリ性が低下し、アルカリ性の低下(中性化)が鉄筋位置まで進行すると不導体被膜が破壊され、腐食環境となる。その中性化の進行程度を把握する試験を中性化試験という。

□ JIS A 1152:2018 コンクリートの中性化深さの測定方法

試験方法

試験面にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧して無色の部分を中性化域、赤紫に着色した部分を未中性化域とする。

中性化深さは、仕上げ材を除くコンクリートの表面から中性化部分の最深部までの深さを指す。



[中性化試験の適用面]

コア側面、割裂面、はつり面、ドリル削孔

257

中性化試験 一般留意事項



1. 試験面に削り粉が付着していると中性化の判定が困難となるため、削り粉やノロの除去を確実に行う必要がある。
2. 中性化の判定は、原則乾燥した呈色が安定した状態で行う。しかし、呈色が広がる場合や乾燥に伴い呈色の境界が不鮮明となる場合は、再噴霧を行い濡れた状態で判定する。
3. フェノールフタレイン1%溶液の噴霧は、供試体が乾燥してから行う。
4. フェノールフタレインはpH10で反応し、pHが10.5～11以下になると鉄筋腐食が開始するとされているので判断には注意を要する。

258

中性化試験 ドリル法



ドリル法による中性化試験

ドリル削孔を利用した、調査による構造物への負担をより軽減した微破壊試験方法である。

※ 再生骨材を使用したコンクリート構造物では、再生骨材の原コンクリートの配(調)合条件によって、骨材自身がアルカリ性を示す場合があり、コンクリートの中性化深さを正確に判断できないことがある。

[試験用具]

電動ドリル	振動式電気ドリル
ドリル刃	コンクリート用、直径10mmのもの
ノギス	JIS B 7507に規定するM形ノギス
ろ紙	JIS P 3801に規定するろ紙
試験液	JIS K 8001の附属書JA(規定)試験用溶液類の調整方法に規定するフェノールフタレイン溶液 ※ フェノールフタレイン(JIS K 8799)1.0gをエタノール(95)90mlに溶かし、水で100mlに調整したもの

259

ドリル法による中性化試験 [試験方法]



● 試験紙の作成

ろ紙に噴霧器などを用いて試験液(フェノールフタレイン溶液)を噴霧し、十分湿潤させた状態で試験に使用する。

● 試験時の明るさと照明方法

フェノールフタレイン溶液により削孔粉の呈色を判断するために、適切な明るさを確保する。試験時に照度や視程が不十分で、フェノールフタレイン溶液の呈色反応が確認できない場合は、呈色の判定ができるよう適切な照明を用意する。

● 試験箇所

試験箇所は依頼者と協議して設定する。

「日本非破壊検査協会規格 NDIS 3419:2011 ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化深さ試験方法」に定める試験方法では、直径10mmのドリル刃を用いて、削孔数を1試験箇所当たり3孔とすることを標準とし、中性化深さ分布を求めることを目的とする場合は、1孔としてもよいとしている。

なお、1試験箇所当たり3孔とする場合は、相互に3cm程度離れた位置を削孔すると定めている。

260

試験紙の作成方法



261

ドリル法による中性化試験 [試験方法]



● 試験操作

測定は、コンクリート表面とする。コンクリート表面に仕上げ材がある場合、コンクリートの中性化深さが判定できれば、そのままの状態で行う。ただし、中性化深さが明確に判定できない場合は、コンクリート面を露出させて試験を行う。

試験操作は2人の技術者により行う。1人の技術者は、電気ドリルをコンクリート表面に垂直に保持し、ゆっくり削孔する。もう1人の技術者は、削孔開始前に、試験紙を削孔粉が落下する位置を保持し、落下した削孔粉が試験紙の一部分に集積しないように試験紙をゆっくり回転させる。落下した削孔粉が試験紙に触れて紅色に変色したとき、直ちに削孔を停止する。

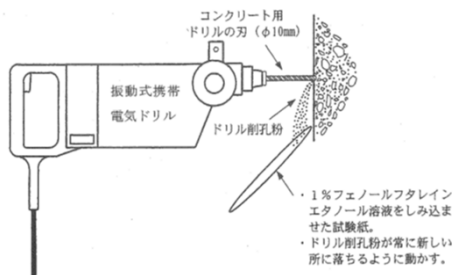
ドリルの刃を孔から抜き取り、ノギスのデプスバーを用いて孔の深さをmm単位で小数点以下1桁まで測定する。

試験操作の留意事項

測定値の精度を高めるために、試験に先立ち、通常のドリル回転速度及び削孔速度で予備試験孔をあけ、おおよその中性化深さを推定しておく。試験は、予備試験結果を参考にして、適当な深さまでの通常のドリル回転速度及び削孔速度で削孔を進め、その後、ドリルの電動スイッチのON/OFFを繰り返しながら削孔速度を調整して、削孔粉によって、はじめて紅色に変化する時を注意深く観察し、見極めることが重要である。

262

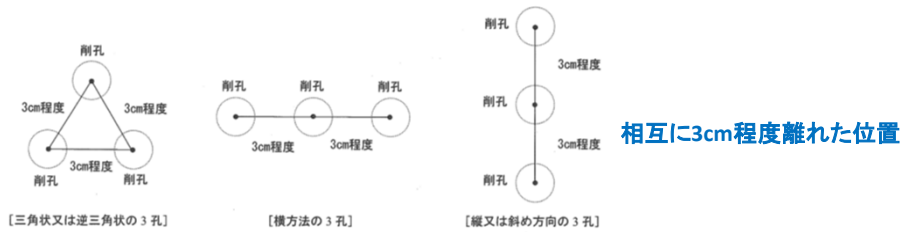
ドリルによる削孔と試験紙の動かし方



試験紙を回転させる

263

試験箇所あたり3孔とする場合の削孔例



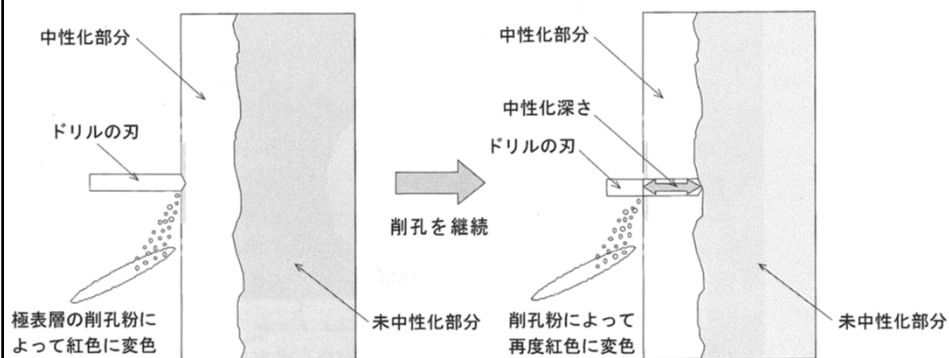
試験箇所あたり3孔とする場合の削孔例



削孔箇所として選定してはいけない例

264

極表層の削孔粉によって紅色に変色



極表層の削孔粉によって紅色に変色した場合の対応方法

265

削孔深さの測定



M型ノギスのデプスバーと本尺の端部を用いて測定

266

促進膨張量試験



既設構造物のアルカリ骨材反応による有害性(今後の潜在膨張性)を検討するうえで、コアによる残存膨張試験は有効である。
構造物からコンクリートコアを用いて試験され、試験方法としては、JCI-DD2法・デンマーク法・カナダ法(NBRI法)などがある。

	促進養生の条件	判定基準
JCI-DD2法	温度 40℃、湿度 100% の条件下にて養生	阪神高速道路公団 全膨張量が 0.1% を超える場合、有害と判定する。
		建設省 建設省総合プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」では 40℃、100% R.H.の条件下に 13 週間養生し、0.05% 以上の膨張量を示すものを有害または潜在的有害と判定する。
デンマーク法	温度 50℃ の飽和 NaCl 溶液中に浸漬	試験材齢 3 箇月での膨張量で以下のように判定する。 0.4% 以上：膨張性あり 0.1～0.4%：不明確 0.1% 未満：膨張性なし
カナダ法 (NBRI 法)	温度 80℃ の 1N の NaOH 溶液中に浸漬	ASTM C 1260-94 の判定基準：試験開始後 14 日間での膨張量で以下のように判定する。 0.1% 以下の場合：無害 0.10～0.20% の場合：有害と無害な骨材が含まれる。 (この場合、14 日以降も更に試験を継続する) 0.20% 以上の場合：潜在的に有害な膨張率

引用文献：コンクリート診断技術'14〔基礎編〕 公益社団法人日本コンクリート工学会

ただし、北陸地域でのカナダ法による ASR の判定基準としては、試験日数 21 日目(材齢 3 週)の膨張率が 0.1% 以上のものを「有害」、それ未満を「無害」している。
(旧日本道路公団北陸支社)

267

促進膨張量試験(2019年JCI変更)



- ・ 既設構造物のアルカリ骨材反応による有害性(今後の潜在膨張性)を検討するうえで、コアによる残存膨張試験は有効である。
- ・ 構造物からコンクリートコアを用いて試験され、試験方法としては、JCI-S-011-2017法(JCI-DD2法を一部修正)・デンマーク法・カナダ法(NBRI法)などがある。
- ・ デンマーク法、カナダ法については、判定基準を「なし」としている。
- ・ 解放膨張量⇒解放膨張率 残存膨張率⇒促進膨張率 と変更

試験法名称	促進養生の条件	判定基準
JCI-S-011-2017	温度 40℃、湿度 95% 以上の条件下にて養生	阪神高速道路公団 全膨張量が 0.1% を超える場合、有害と判定する。
		建設省 建設省総合プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」では 40℃、100% R.H. の条件下に 13 週間養生し、0.05% 以上の膨張量を示すものを有害または潜在的有害と判定する。
飽和 NaCl 溶液浸漬法 (デンマーク法)	温度 50℃ の飽和 NaCl 溶液中に浸漬	なし
アルカリ溶液浸漬法 (カナダ法)	温度 80℃ の 1 mol/L の NaOH 溶液中に浸漬	なし

引用文献:コンクリート診断技術'19[基礎編] 公益社団法人日本コンクリート工学会

268

塩化物含有量試験

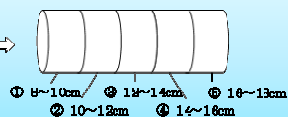


塩化物イオンにより、コンクリート中の鋼材の腐食が進行することから、コンクリート中の塩化物含有量を把握する。構造物からコンクリートコアを採取して分析したい深度ごとにカットしたものを試料とする場合と、ドリル削孔による粉末を試料として用いる場合がある。

□ JIS A 1154:2020 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法

コンクリートコア採取

採取方向 →



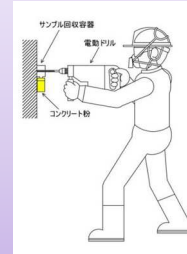
粉 砕

0.15mm以下に微粉碎したものを試料とする。

分 析

ドリル削孔

粉末を採取し試料とする。



269

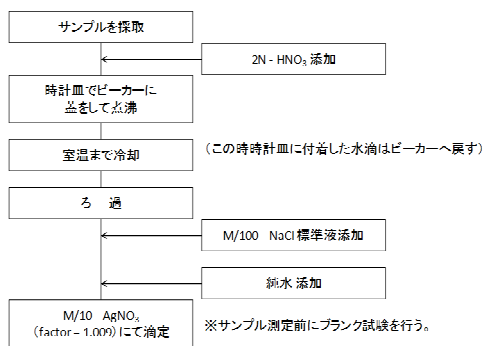
塩化物含有量試験



塩化物イオンの定量分析方法

- 塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法
- チオシアン酸水銀(II)吸光光度法
- 硝酸銀滴定法
- サプレッサ方式のイオンクロマトグラフ法

【塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法】



$$C = \frac{V \times 0.003545 \times f}{W} \times \frac{200}{X} \times 100$$

C : 塩化物イオン量
 V : 滴定に要した0.13mol/ℓ硝酸銀溶液(ml)
 f : 0.1mol/ℓ硝酸銀溶液のファクター
 X : 分取量(ml)
 W : 試料(g)
 0.003545: 0.1mol/ℓ硝酸銀溶液1mlの
 塩化物相当量(g)

塩化物量分析フローチャート

270

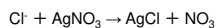
電位差滴定法



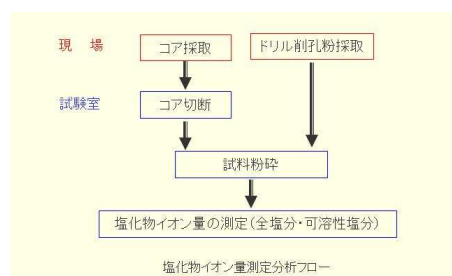
電位差滴定法 ⇒ 塩化物イオン量測定

電位差滴定法とは、試料溶液に1対の電極を浸し、滴定によって目的化合物の濃度を変化させながら電極の電位差を測定することにより塩化物イオン量を測定する分析方法です。

塩化物イオンを含む溶液に硝酸銀(AgNO₃)を加えると塩化物イオン(Cl⁻)は硝酸銀(AgNO₃)中の銀イオン(Ag⁺)と化学反応し、塩化銀(AgCl)となり沈殿します(下式参照)。



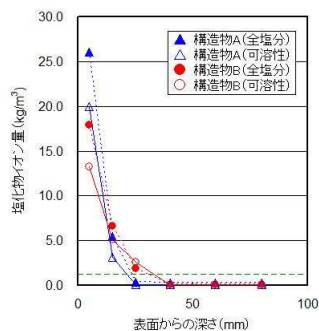
試料溶液中の塩化物イオンが減少し、代わりに銀イオンが増えることで生じる電位差を測定し、当量点を求め、試料溶液中の塩化物イオン量を算出します。



塩化物イオン量測定分析フロー



塩化物イオン量測定状況



塩化物イオン量測定結果の一例

271

イオンクロマトグラフ法

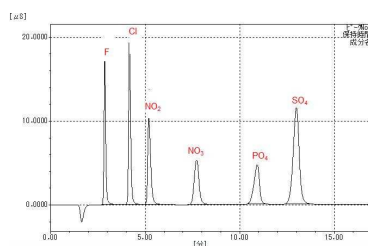


イオンクロマトグラフ法 ⇒ 陰イオンの定量

イオンクロマトグラフ法は液体試料中のイオン成分 (F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} 等)を検出する手法です。固体(部材)表面に付着しているこれらの成分は、純水に浸して抽出することで評価可能となります。イオンクロマトグラフィーは、表層に電荷を持つイオン交換樹脂を充てんしたカラムの中に、試料 溶液を流すことにより、各イオンの持つ電荷の大小により連続的に分配される分析方法です。



塩化物イオン量測定状況



陰イオン分析結果の一例

適用例

- ・溶液中のイオン成分の評価
- ・部材表面から溶出するイオン量評価
- ・部材の腐食原因調査
- ・めっき液中の成分調査
- ・有機酸の評価アミン類の評価
- ・アンモニウムイオン量の評価
- ・溶液中シアン量の評価

272

粉末X線回折(XRD)



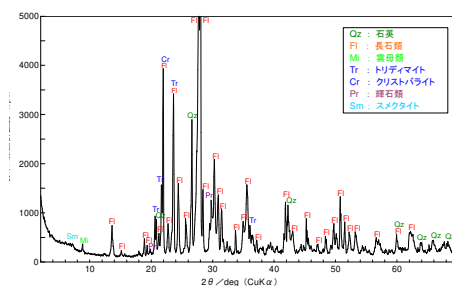
粉末X線回折 ⇒ 化学組成分析、鉱物判定

粉末X線回折とは試料にX線を照射したとき反射されるX線の回折現象を利用し、構成成分の判定、定量を行う方法です。

粉末X線回折により、化学組成分析、鉱物判定を行います。



塩化物イオン量測定状況



粉末X線回折結果の一例

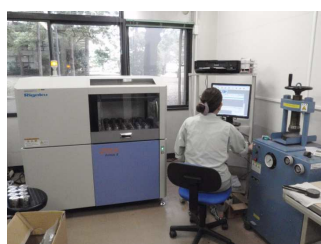
273

蛍光X線分析

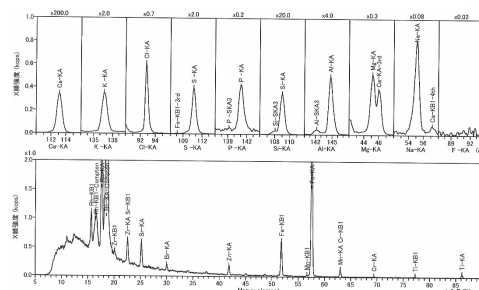


蛍光X線分析 ⇒ 元素の定性・定量

蛍光X線分析とは、試料にX線を照射した時、試料を構成する元素より発生するX線(蛍光X線)を測定することにより、元素の定性・定量分析を行う。蛍光X線のエネルギーは元素固有なので、試料を構成する元素の同定が行える。また、強度から組成に関する情報が得られる。



蛍光X線分析装置



	Na ₂ O (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SrO (%)	BaO (%)
試料	0.13	0.81	1.94	0.02	0.04	0.07	95.30	0.06	0.61	0.80	0.22

蛍光X線分析による結果の一例

274

SEM ・ EDS

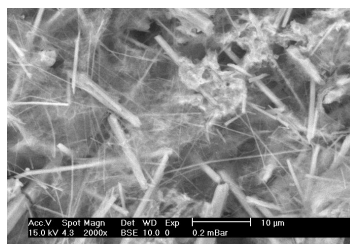


SEM、EDS ⇒ コンクリート中の組織観察

走査型電子顕微鏡観察(SEM)とは、数百から数μmに絞った電子線を試料表面に当て、反射した電子線を映像化することにより、極微細部の組織観察を行う方法である。

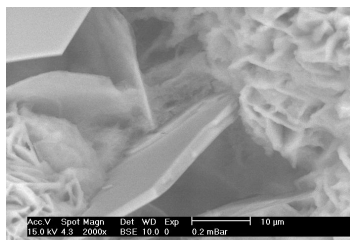
また、エネルギー分散型X線分析(EDS)とは、SEM観察時に、試料より発生するX線を分析、同定することにより、構成元素の定性・定量を行う方法である。

コンクリート中の組織観察を行うため、これらの分析を行う。



SEM・EDSによる分析結果の一例(エトリンガイト)

EDAX ZAF	
Oxides	
Element	Wt%
Na ₂ O	-
MgO	-
Al ₂ O ₃	10.2
SiO ₂	14.2
SO ₃	20.6
ClO	-
K ₂ O	-
CaO	55.1
Fe ₂ O ₃	-
Total	100.0



SEM・EDSによる分析結果の一例(水酸化カルシウム)

EDAX ZAF	
Oxides	
Element	wt%
Na ₂ O	0.9
MgO	-
Al ₂ O ₃	18.4
SiO ₂	9.7
SO ₃	13.9
ClO	-
K ₂ O	-
CaO	57.1
Fe ₂ O ₃	-
Total	100.0

275

電子線マイクロアナライザー (EPMA)



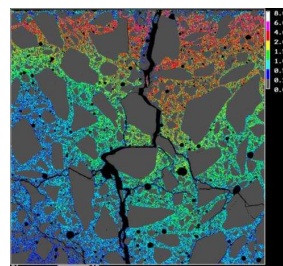
EPMA ⇒ 塩分量の可視化

電子線マイクロアナライザー (EPMA) とは、鏡面状に研磨された観察試料に電子線を照射します。その刺激により試料から放出される特性X線を検出し、解析することにより、試料に含まれる元素の種類と濃度が求められます。1mm角に満たない微小領域の化学組成を求められることが特長。

面分析結果は、各ピクセルについて求めた元素濃度の大小を色で分けて表示されます。濃度の二次元分布を視覚的に捉えられるため、マッピング分析とも呼ばれる。



電子線マイクロアナライザー



マッピング分析結果の一例

276

示差熱天秤分析 (TG-DTA)



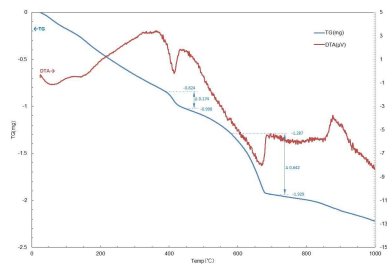
示差熱天秤分析 ⇒ セメント水和の進行度、炭酸化、火災による被熱の程度

示差熱天秤分析とは、試料を加熱した際に起こる質量変化 (TG) と熱的挙動 (DTA: 発熱や吸熱) を連続的に測定する方法であり、これらを基に、試料に含まれる物質の種類と量を求めることができる。セメント水和の進行度、炭酸化、火災による被熱の程度、などの評価ができる。

コンクリート微粉末試料を常温から1000°C程度まで定速で昇温することにより、水酸化カルシウム量および炭酸化カルシウム量を測定することができる。



示差熱分析作業状況



示差熱分析結果の一例

277

原子吸光分析法



原子吸光分析法 ⇒ 金属イオンの定量、漏水の成分

原子吸光分析法は、地下水や漏水などの水溶液に含まれる金属元素イオンを高温にて原子化し、各元素に固有の光を透過してその吸収スペクトルを原子吸光光度計により測定することにより、金属元素イオンの定量をする分析方法である。



原子吸光光度計分析状況

金属イオン分析結果の一例

採取箇所	pH	電気伝導度 (ms/s)	陽イオン測定結果(ppm)			
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
試料A	6.34	7.64	1.4	0.6	10.8	0.6
試料B	6.67	4.78	1.5	0.5	12.8	0.6
試料C	6.12	4.00	1.5	0.5	10.7	0.7

278

偏光顕微鏡



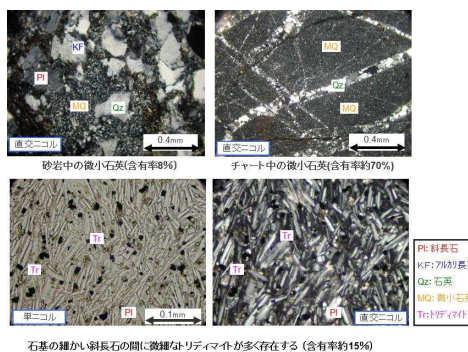
偏光顕微鏡観察 ⇒ 岩種、鉱物判定および定量

偏光顕微鏡観察により、岩種、鉱物判定および定量分析を行います。骨材に使用されている岩石やその構成鉱物を特定するとともに、コンクリート中におけるアルカリシリカ反応(ASR)の進行状況を評価に利用される。

また、その他に様々なものを同定したり観察することができる。



偏光顕微鏡観察状況



石英の結晶が斜長石の間に微細なシリカリッチなマトリックスが多く存在する (含有率約15%)

偏光顕微鏡観察結果の一例(上:堆積岩、下:安山岩)

279

非破壊検査法の活用



【非破壊検査技術の活用促進】

社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置

(国土交通省 平成25年3月21日)

➤ 新技術の開発・導入等

現場の維持管理の効率化等を推進するため、劣化・損傷箇所の早期発見等に繋がる非破壊検査等による点検技術の開発・導入等を推進する。

[課題]

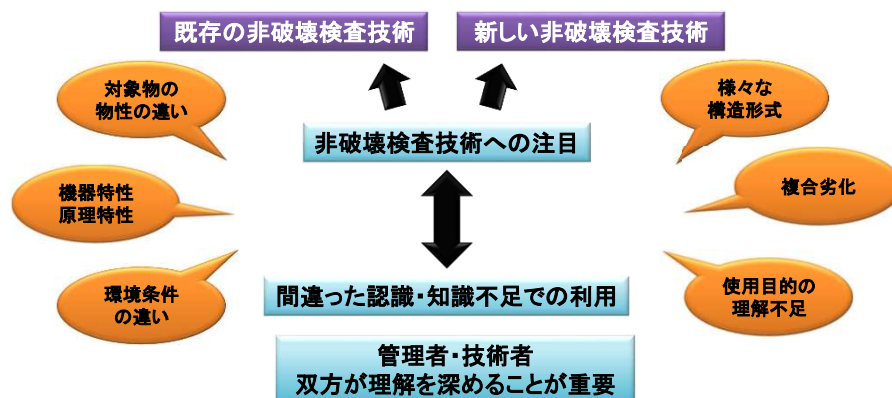
非破壊検査等による点検・診断技術等の開発・導入等の促進

[主な対応]

非破壊検査等による点検・診断技術等について、**研究開発の促進**に加え、新技術情報提供システム(NETIS)等を活用し、**既存技術も含め、現場への試行的な導入**を促進。その際、**分野横断的な情報共有**を徹底し、技術の適用性、効果等を確認し、評価結果の公表、認証する制度の充実を図るなど、更なる普及を推進。

280

非破壊検査法の活用の留意点



- 適用限界・精度を理解し、目的を明確にしておく(管理者・技術者)
- 検査機器に対する十分な知識を有し、結果を的確に読み取れる(技術者)
- 記録・データを保管する(管理者・技術者)

281

定期点検における非破壊検査



橋梁定期点検要領 平成26年6月 国土交通省 道路局 国道・防災課より

定期点検では、全ての部材に近接して部材の状態を評価することを基本とする。

損傷や変状の種類によっては、表面からの目視だけでは検出できない可能性があるものもある。このような事象に対しては、触診や打音も含めた非破壊検査が有効であることも多く、必要に応じて目視以外の方法も併用する。

非破壊検査の手法を用いる場合、機器の性能や検査者の技量など様々な条件が検査精度に影響を及ぼすため、事前に適用範囲や検査方法の詳細について検討しておくことが必要である。

点検計画の作成においては、適用しようとする方法が対象の条件に対して信頼性のあることを予め確認しておくなどにより、適切な点検方法を選択しなければならない。

なお、定期点検の際、高度な機器や専門家による実施が不可欠な非破壊検査機器による調査を行うことが困難な場合もあり、そのような場合には「S1（詳細調査の必要がある）」とするなど、確実に必要な調査が行われるようにすることが重要である。

282

新技術の開発と活用

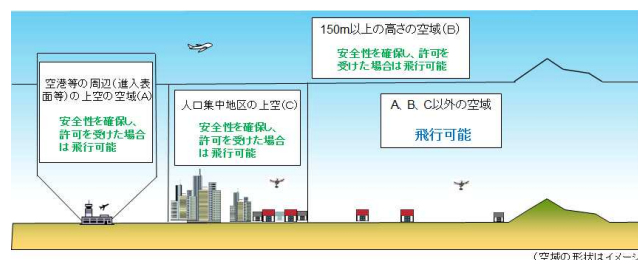


【電磁波レーダ法による探査性能向上技術】

複数周波数の利用またはワイドバンド化、複数の発振器と受信器のアレイ化、3次元データ解析などにより解像度や判定精度を向上させた技術の開発が進んでいる。橋梁の非破壊検査や道路下の空洞・埋設物調査に用いられている。

【ドローン活用技術】

点検の効率化や近接困難箇所を目視のため、ドローン（無人航空機）による撮影点検が実用化され始めている。ただし、近接点検に代わる方法としては、まだ課題が多い他、安全性の向上を図るため、飛行上の規制が整備されている。



左図：国土交通省HPより

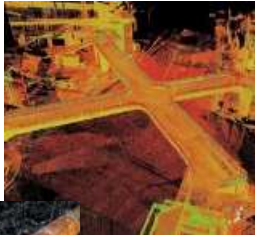
283

新技術の開発と活用



【3次元計測技術】

大型構造物や直接スケールなどで計測できない箇所を離れた場所から計測するため、3Dレーザースキャナーによる非接触3次元計測技術が活用されている。施工管理や出来形管理、近接工事シミュレーションなど活用の幅は広い。



画像：クモノスコーポレーションHPより

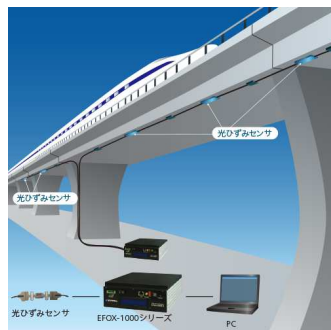
284

新技術の開発と活用



【光ファイバセンシング技術】

コンクリート構造物の予防的 management の実現手法の一つとして、活用研究がなされ、ひずみ計測、温度計測、振動計測、ひび割れ計測、変位計測などを実施する際に各種光ファイバセンサーが活用されている。電磁ノイズの影響を受けず、センサー部に電源を要しないなどの特徴がある。



【FBGセンシング技術】

画像：(株)共和電業HPより

285

(参考) 橋梁点検要領の整理



橋梁定期点検要領 H26.6 国土交通省 道路局 国道・防災課

- 国土交通省・内閣府沖縄総合事務局が管理する2.0m以上の道路橋
- 道路法施行規則の第四条の五の二規定に基づいて行う定期点検について記したもの

道路橋定期点検要領 H26.6 国土交通省 道路局

- 地方自治体が管理する2.0m以上の道路橋
- 上記定期点検について、最小限の方法、記録項目を記したもの

総点検実施要領(案) H25.2 国土交通省 道路局

- 道路利用者及び第三者の被害が予想される全道路橋
- 市町村が総点検を実施する際の参考として作成もの
- 本要領(案)の点検内容を越えて点検等を実施してもよい

286

6. トンネル



1. 社会資本・維持管理について
2. 法令・安全衛生
- 3-1. 橋梁定期点検要領
- 3-2. 道路トンネル定期点検要領
4. コンクリートに関する基礎知識
5. 構造物の点検技術, 点検方法
6. トンネル
7. 補修・補強工法
8. 事例

287



6 トンネル

- 6.1 トンネルの現況
- 6.2 維持管理から見たトンネルの建設技術
- 6.3 トンネルの変状と原因
- 6.4 トンネルの点検技術

※ここでは、主に山岳トンネルを対象として以上の事柄に絞って解説する。

288



6,1 トンネルの現況

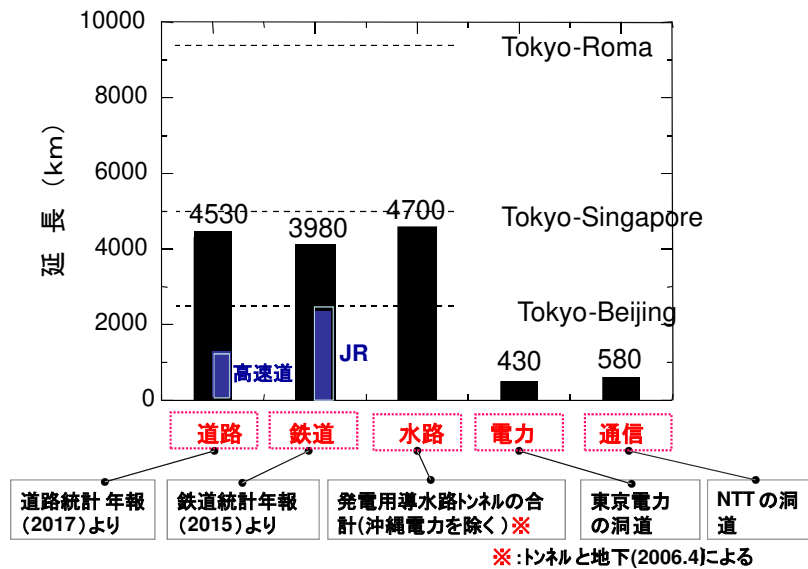
※日本におけるトンネル（主に道路と鉄道）の保有状況、経年分布、変状実態を概説。

289

日本の用途別トンネル延長の比較



土木学会「トンネル維持管理事例検討部会」調べ(2018)



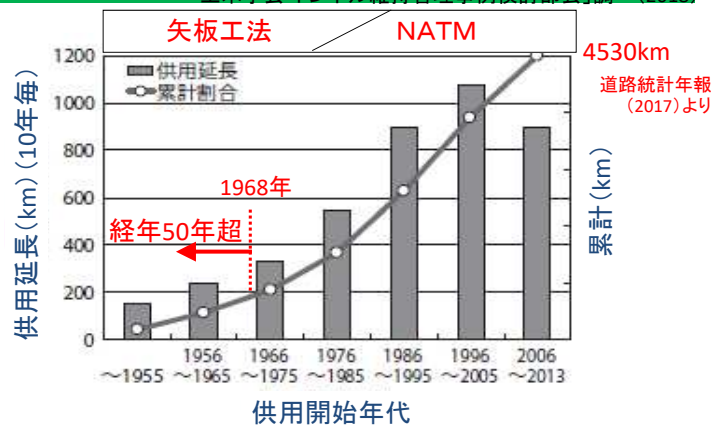
290

トンネル延長の推移 (道路)



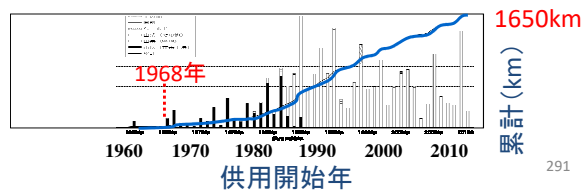
土木学会「トンネル維持管理事例検討部会」調べ(2018)

国道・地方道
トンネル



道路統計年報
(2017)より

高速道路
トンネル
(Nexco)

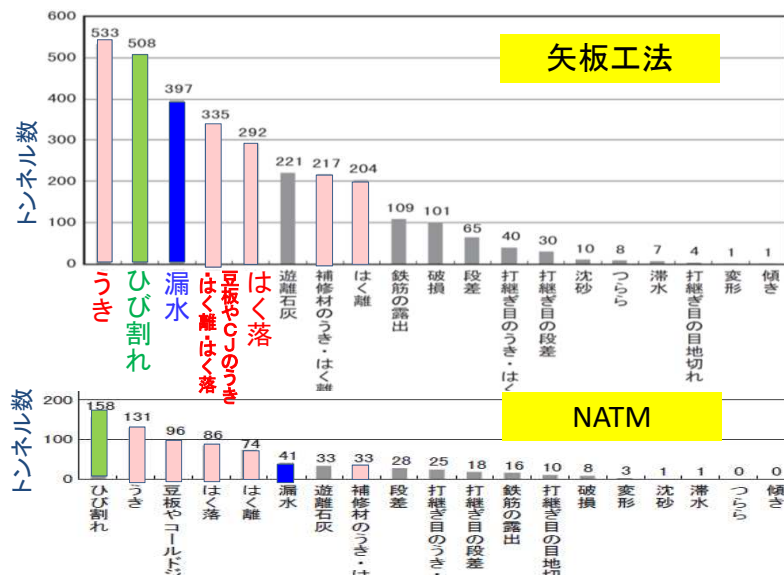


291

変状実態（道路）



【出典】道路トンネル維持管理便覧【本体工編】(2015.6)に加筆



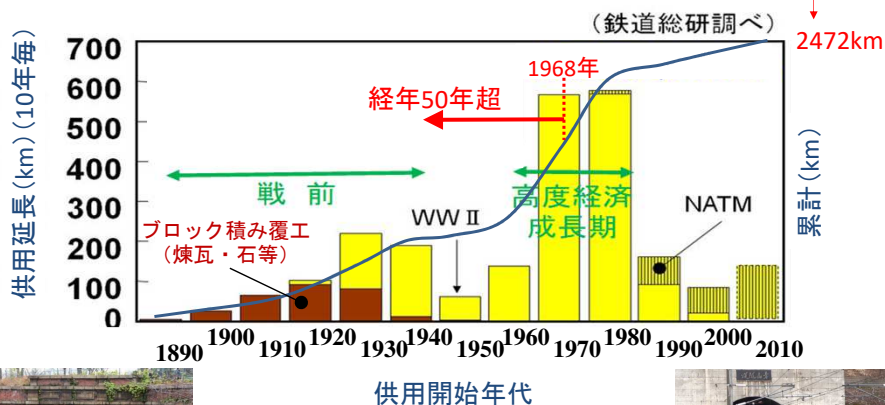
292

トンネル延長の推移（鉄道）



【JR 7社の推移】

鉄道トンネルの全延長=3980km のうち、
JRの全延長=2472km
(鉄道統計年報[平成27年度]より)



トンネル内の剥落件数の実態調査(鉄道)

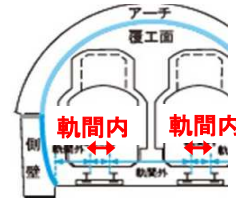


2012.1~2014.9: 鉄道局調べ

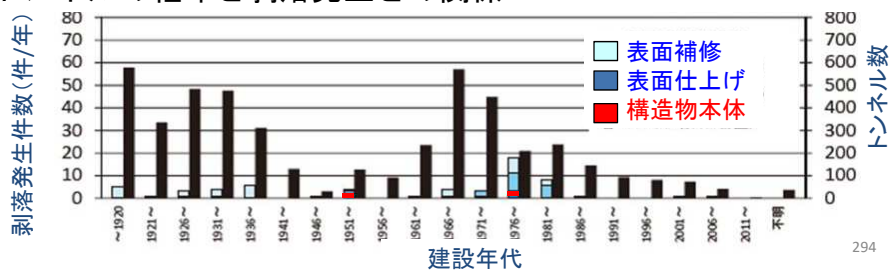
【出典】鉄道構造物の維持管理に関する基準の検証会議のとりまとめについて, 建設マネジメント技術, 2015

剥落件数の内訳

		軌間内	軌間外	計	
コンクリート片	構造物本体	5	5	10	10
	表面補修	0	0	0	
モルタル片	表面仕上げ	2	18	20	51
	表面補修	6	25	31	
計		13	48	61	



トンネルの経年と剥落発生との関係



294

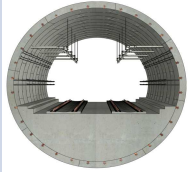
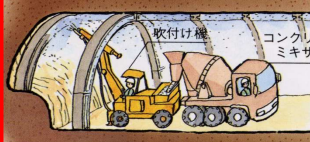
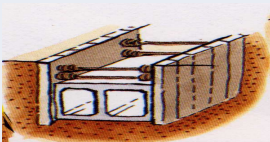
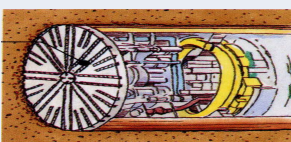
6.2 維持管理から見た トンネルの建設技術



295

トンネルの断面形状と施工法の分類



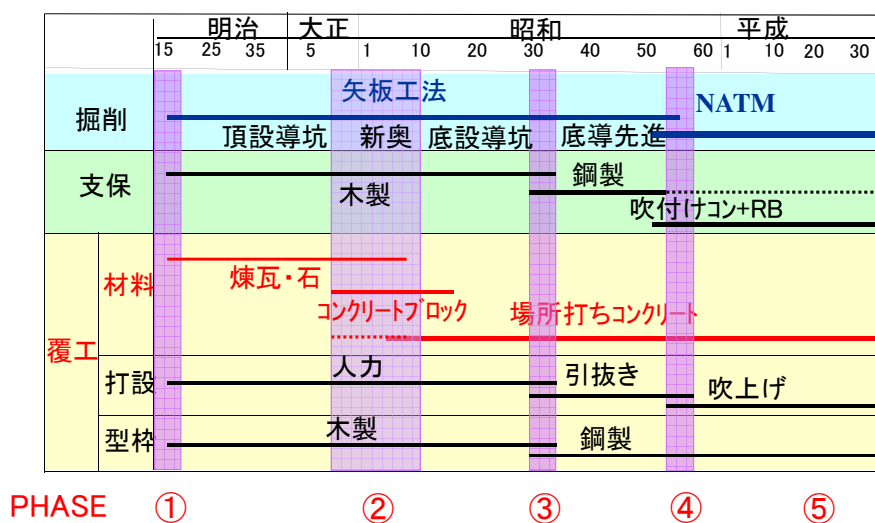
山岳トンネル		都市トンネル	
山岳工法		開削工法	シールド工法
			
			
発破/機械		土留+地表掘削	シールド掘削機
割合(鉄道) 84%		4%	11%

296

山岳トンネルの建設技術の変遷

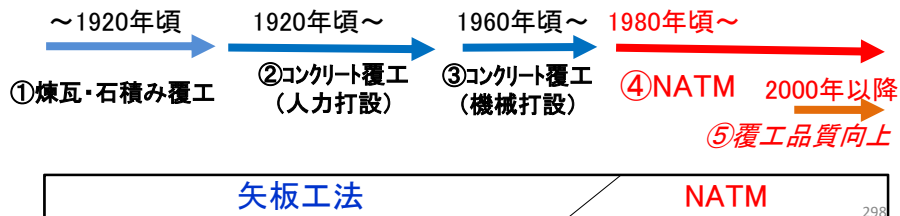
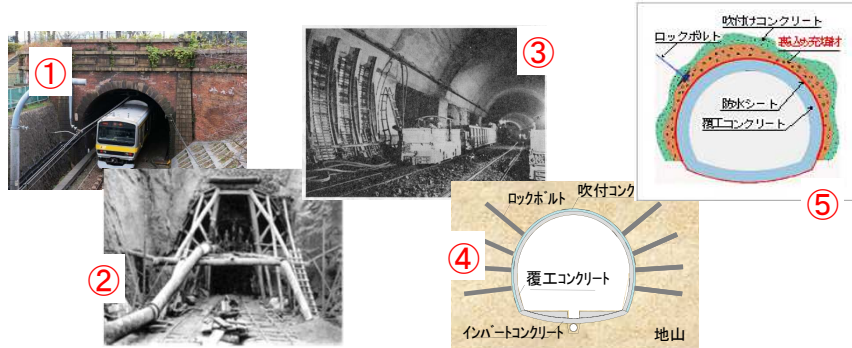


土木学会「トンネル維持管理事例検討部会」(2018)を修正・加筆



297

覆工技術の変遷 Phase①～⑤



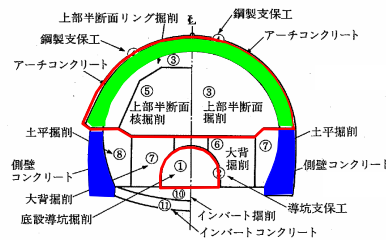
矢板工法のトンネル（Phase③）



代表的な掘削工法と覆工構造の特徴

底設導坑先進 上部半断面工法

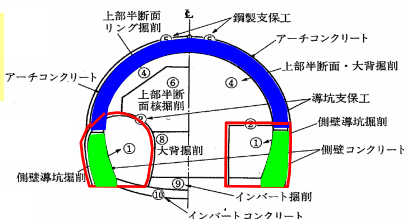
比較的良好な地山
に適用された



アーチコンクリートを
打設した後、側壁コン
クリートを打設。
（逆巻き覆工）

側壁導坑先進 上部半断面工法

不良な地山
に適用された

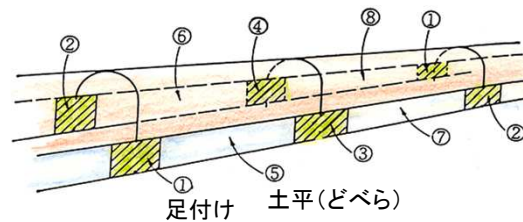
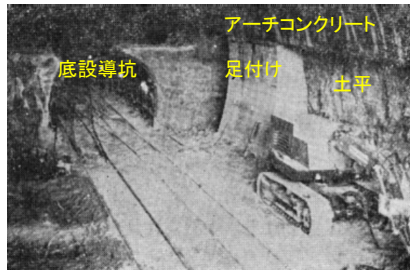


側壁コンクリートを打
設した後、アーチコン
クリートを打設。
（順巻き覆工）

矢板工法のトンネル (Phase③)



覆工の施工方法 (底設導坑先進上部半断面工法の場合)



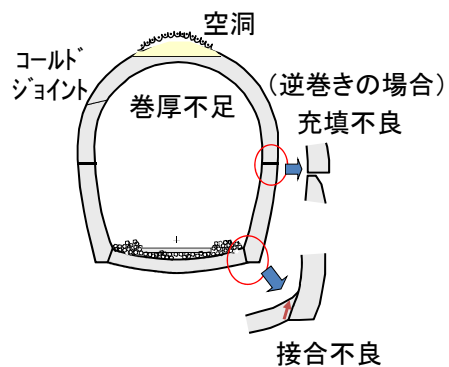
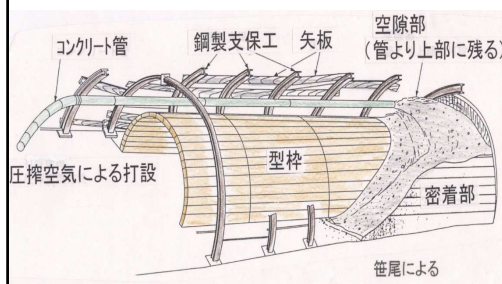
300

矢板工法のトンネル (Phase③)



一般的な打設方法
(引抜き管)

構造欠陥の発生



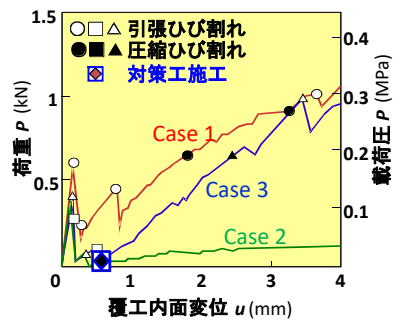
301

参考



実験例－１（２次元載荷実験）

構造欠陥（背面空洞、巻厚不足）の影響と裏込注入の効果



新幹線トンネルの縮尺1/30
模型を用いた載荷実験。
・健全なCase1に対して、
背面空洞の影響(Case2)
裏込注入の効果(Case3)
が確認できる。
・裏込注入材は、**軟らかい材**
料でも十分な効果があるこ
とが分かる。

【出典】朝倉・小島他(鉄道総研報告、1997.7)に加筆

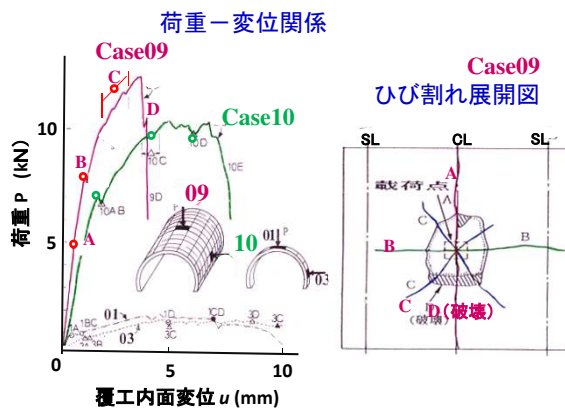
302

参考



実験例－２（３次元載荷実験）

覆工の変形挙動の３次元効果と変状現象



新幹線トンネルの縮尺1/30
模型を用いた３次元効果に
着目した載荷実験。
・３次元モデルの覆工は、局
所荷重が作用(CASE09,10)
する場合、**極めて大きな耐**
力を有する。
・しかし、最終的に押し抜き
せん断破壊による覆工の崩
落が生じる。
・A⇒B⇒C⇒Dと**段階的に**
破壊が進むので、崩落を**未**
然に防ぐことができる。

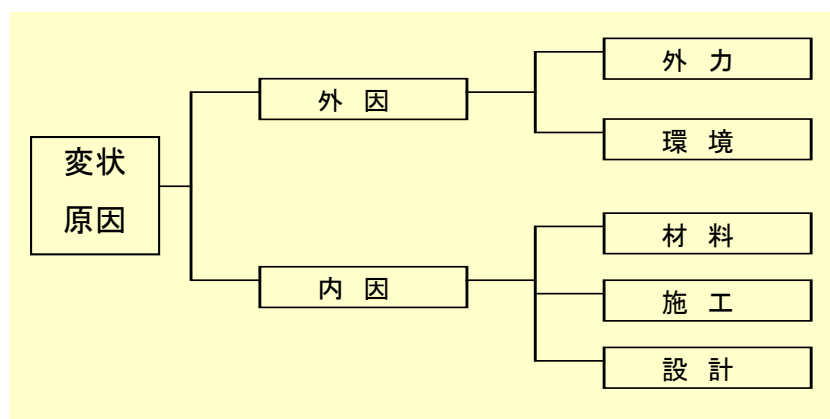
【出典】朝倉・小島他(土木学会トンネル工学研究発表会、論文、1993.)に加筆



6.3 トンネルの変状と原因

304

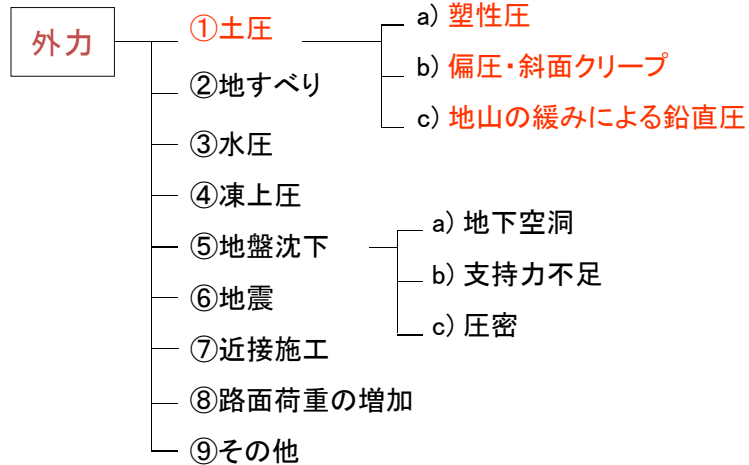
変状原因の分類



内因 × 外因 ⇒ 変状

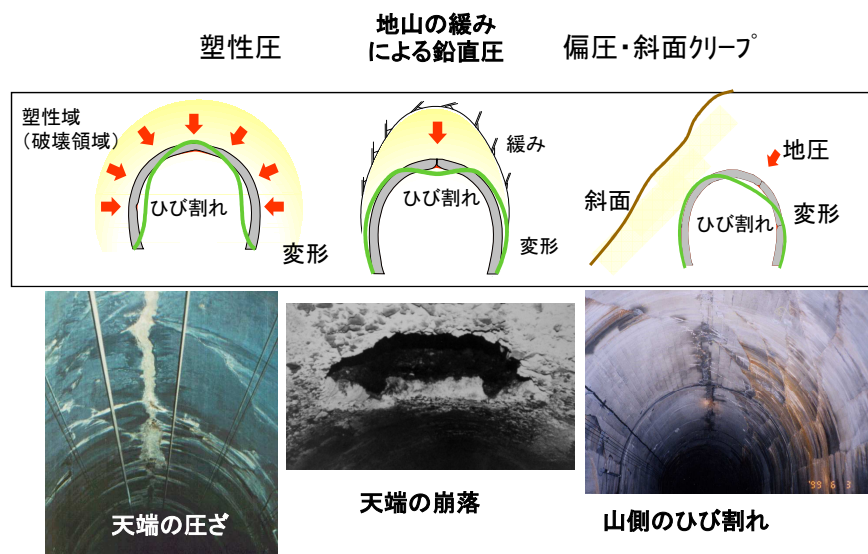
305

(1) 外因(外力)



【出典】鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準(2007.1)に加筆306

土圧(代表的な土圧と変状の例)



【出典】小島・野城他(RRR、1998.4)

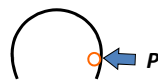
307

鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準(2007.1)に加筆

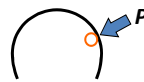
外力によるひび割れの例（開口ひび割れ）



側壁部の開口ひび割れ
（トンネル軸方向）



アーチ肩部の開口ひび割れ
（トンネル軸方向）



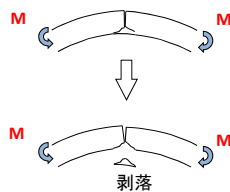
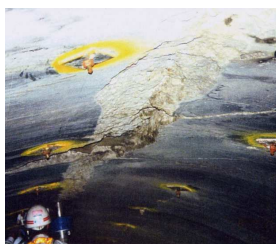
【出典】鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準（2007.1）に加筆.

308

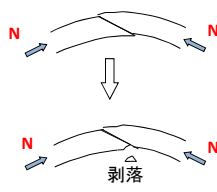
外力によるひび割れの例（圧ざ、せん断）



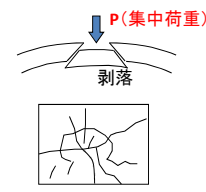
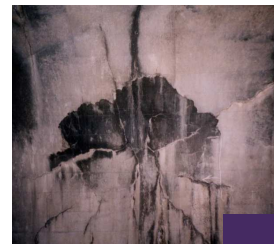
a) 曲げによる
圧縮破壊（圧ざ）



b) 軸圧縮力による
せん断破壊



c) 押抜き力による
放射状 ひび割れとせん断破壊

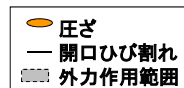


【出典】鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準（2007.1）に加筆. 309

外力による変状原因推定(ひび割れ形態)

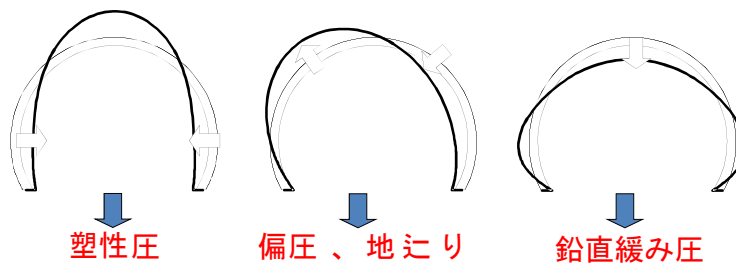


ひび割れ形態	作用外力	原因推定
		塑性圧 (凍上圧, 支持力不足, 水圧)
		偏圧, 地すべり
		緩み圧 注)「パターンⅠ」で他スパン共通 なら⇒打設時のひび割れ
I	II	I: 外力小 II: 外力大



【出典】鉄道総研: 鉄道構造物等維持管理標準(2007.1)に加筆.³¹⁰

外力による変状原因推定(変形形態)



総合評価……

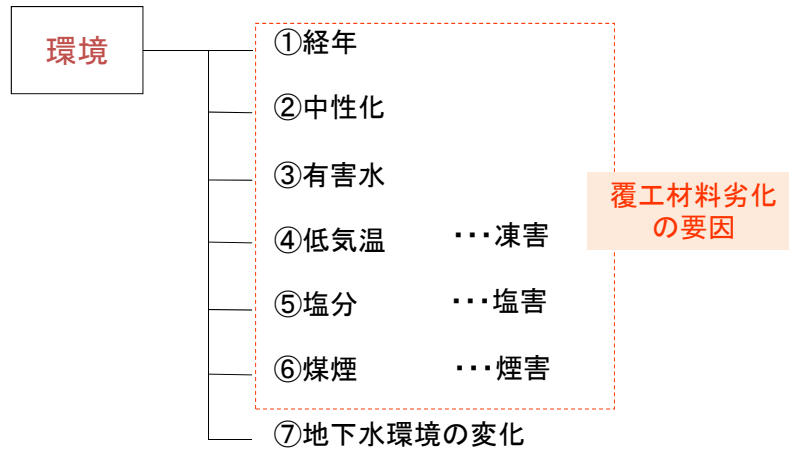
ひび割れパターン、内空変位に加えて

- ・地形・地質・土被り
- ・トンネルの形状・構造欠陥

原因を特定できる!

311

(2) 外因(環境)



【出典】鉄道総研: 鉄道構造物等維持管理標準(2007.1)に加筆³¹²

覆工材料劣化の問題点



そもそも、覆工材料は劣化しにくい。

坑内環境は安定 (温度・湿度一定)・・・坑口は例外
劣化にしにくい材料 (多くは無筋コンクリート、煉瓦)

なぜ劣化が問題？

- ・覆工材質の不良(内因)。
- ・漏水(高い湿度、水質、等)。
- ・補修材のはく離(下地処理不足、等)
- ・はく落が交通の安全性に直結

覆工材料劣化の例

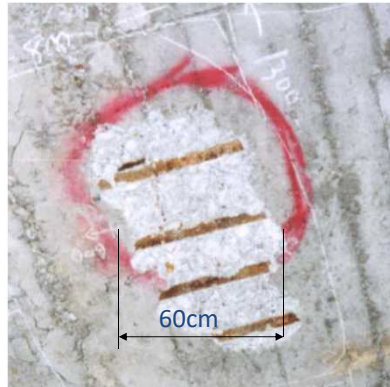


煉瓦表層の剥落



(煉瓦の材質不良+凍害)

RC被りコンクリートの剥離



(被り不足+中性化)

【出典】鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準(2007.1)に加筆.

覆工材料劣化の例

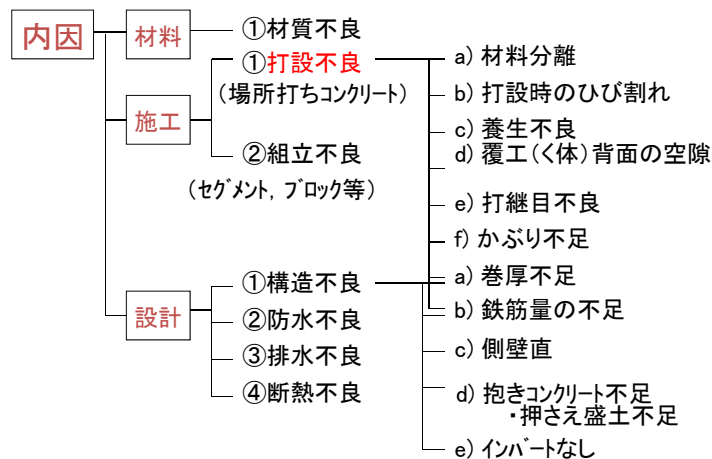


煉瓦トンネルにおける
吹付けモルタルの剥落

- ・下地処理不足
- ・一体化不足(ラス、アンカー)
- ・乾燥収縮
- ・界面の凍結融解による付着力の低下

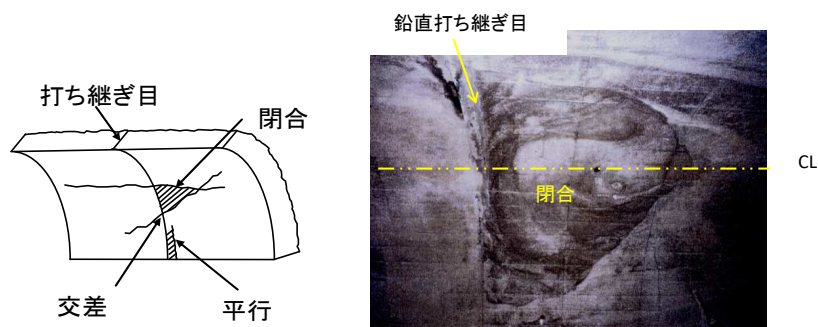
【出典】鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準(2007.1)に加筆.

(3) 内因



【出典】鉄道総研: 鉄道構造物等維持管理標準(2007.1)に加筆³¹⁶

打ち継ぎ目付近のひび割れ

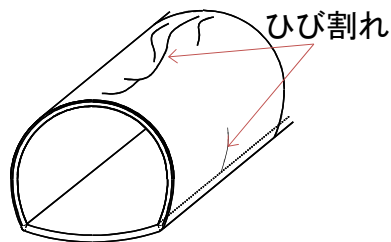


ひび割れの閉合・交差に注意！
(剥落に繋がる)

【出典】鉄道総研: 鉄道構造物等維持管理標準, 2007.1.
317

乾燥収縮によるひび割れ

一般的な形態



打設スパン毎にパターン化されている
(繰り返される)

要注意の形態

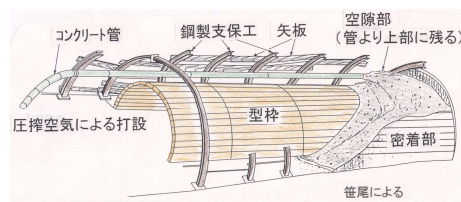
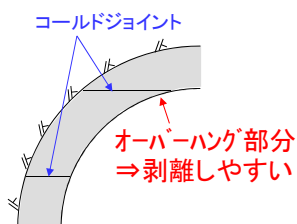
NATM導入時期で
防水シート無しの例



ひび割れの閉合・交差に注意！
(剥落に繋がる)

【出典】鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準(2007.1)に加筆.³¹⁸

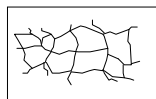
コールドジョイント



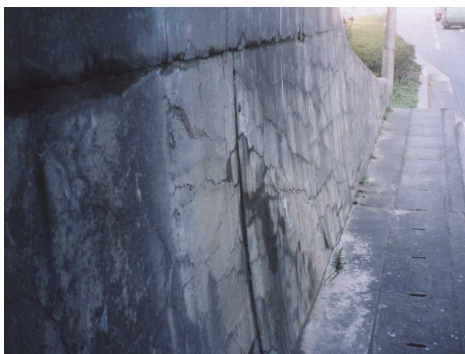
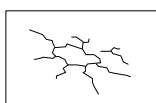
【出典】鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準(2007.1)に加筆.

網目状/亀甲状のひび割れ

網目状



亀甲状



ひび割れの閉合・交差に注意！
(剥落に繋がる)

【出典】鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準(2007.1)に加筆.

320

ひび割れ形態による原因推定（内因と外因）

ひび割れパターン	考えられる原因	
	内因	外因(環境・外力)
①不規則	・材質不良、打設不良 (骨材中の泥分・異常凝縮)	・凍害 ・アルカリ骨材反応
②メッシュ状	・鉄筋被り不足	・中性化による鉄筋腐食
③水平方向	・打設不良(急激な打設) ・コールドジョイント ・温度収縮、乾燥収縮 ・型枠の早期脱型、沈下	(外力の作用)
④斜め方向	(③／⑤のいずれか)	
⑤横断方向	・温度収縮、乾燥収縮	

321



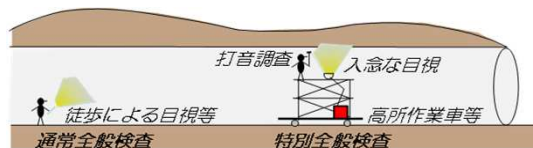
6.4 トンネルの点検技術

322

定期的な点検の方法（鉄道トンネルの場合）

（国交省鉄道局、鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準・同解説 トンネル（2007.1））

検査種別	初回検査 （建設時）	特別全般検査 （新幹線：20年毎） （在来線：10年毎）	通常全般検査 （2年毎）
調査方法	近接目視＋打音 十分な照明		目視（＋打音） 十分な照明



323

以下、最新の検査技術の例を紹介。

- (1) 覆工表面の調査技術
(目視に替わる技術)
- (2) 覆工内部の調査技術
(打音に替わる技術)
- (3) 内空断面形状の調査技術

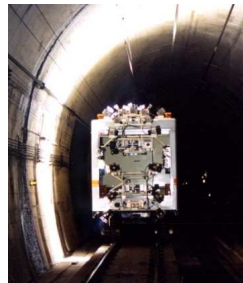
324

(1) 覆工表面の調査技術

覆工表面撮影車の例

(a) ラインセンサカメラ

(JR東海, 鉄道総研) 稼働: 1999年～



(b) レーザー

(JR東日本) 稼働: 2000年～



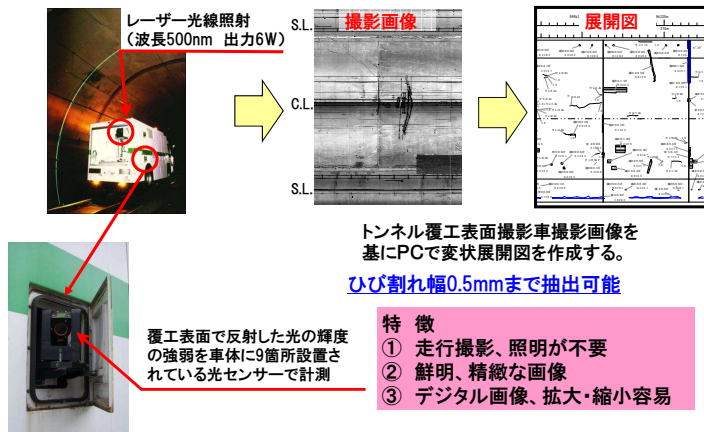
(JREA, 2000.6)

⇒ 全般検査の目視を代替する技術へ

325

(1) 覆工表面の調査技術

覆工表面の撮影状況、撮影画像、変状展開図の例 (JR東日本)



326

(2) 覆工内部の調査技術

ハンマーによる打音調査

- ・トンネルでは特に重視されている。
- ・五感、同時に対策(叩き落とし)も可能。

課題 検査足場…非効率
個人差, 主観(濁音と清音)
記録に残らない, 等..



打音に替わる(or補完する)手法が必要！
(非破壊検査法の開発・実用化へ)

327

(2) 覆工内部の調査技術

鉄道構造物等維持管理標準 (2007.1)

覆工内部欠陥の各種非破壊検査手法の適用性

手法	現在の適用性			調査範囲
	表層	内部	背面	
① 打撃音法	○	△	△	点
② 超音波法	○	○	△	点
③ 弾性波法	△	○	△	点
④ 電磁波法	△	○	◎	線～面
⑤ 熱赤外線法	○	△	△	面

表層: 覆工表面に近い部分

内部: 覆工内部

背面: 覆工巻厚、空洞の有無等

◎: 実用化され広く利用されている

○: 実用化されているが広く利用されるには改善が必要。

△: 試験的に用いられている。

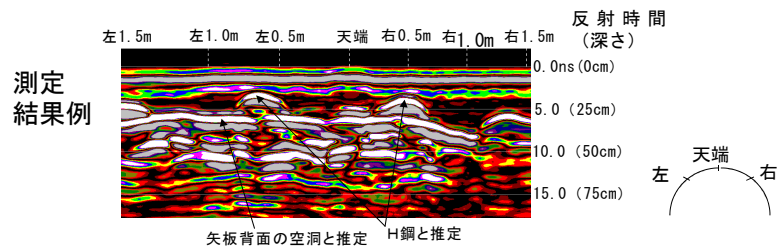
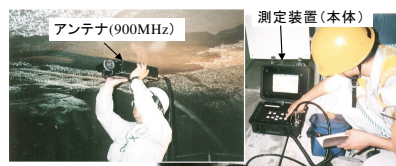
328

(2) 覆工内部の調査技術

④ 電磁波法

……トンネル覆工の厚さ、覆工背面の地山との間の空隙を探索する手法として一般的に用いられている

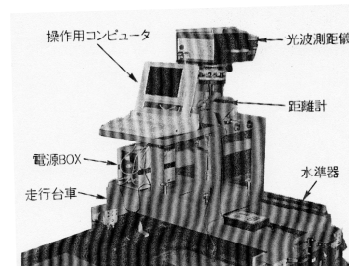
電磁波法の
測定状況例



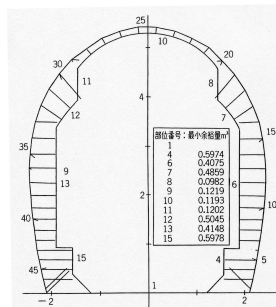
【出典】榎本・小島 (RRR、2004.10) ³³⁹

(3) 内空断面形状の調査技術

レーザーを利用した光波測距儀を断面測定システムの例



単線トンネルでの測定例



JTA保守管理委員会:トンネルの新しい検査手法(1)～(4), トンネルと地下, Vol.27, No.8～11, 1996.8～11

330

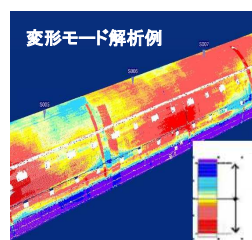
(3) 内空断面形状の調査技術

走行型トンネル計測システム

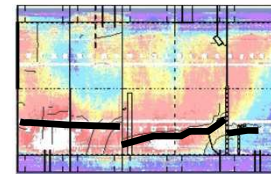
高精度レーザー
高精度レーザー
100万点/秒, 200サイクル/秒
5000点/周(4mm間隔)



MIS & MMS (MIMM2 2号機)



ひび割れ展開図との重ね合わせ⇒変状原因推定



(パシフィックコンサルタンツカタログより)

331

7. 補修・補強工法



1. 社会資本・維持管理について
2. 法令・安全衛生
- 3-1. 橋梁定期点検要領
- 3-2. 道路トンネル定期点検要領
4. コンクリートに関する基礎知識
5. 構造物の点検技術, 点検方法
6. トンネル
7. 補修・補強工法
8. 事例

332

補修・補強工法



補修・補強設計の考え方

補修・補強設計では、それぞれの劣化原因や劣化度に応じた適切な工法を選定することが極めて大切である。もし、工法を選定に誤りがあった場合は、所期の補修・補強効果が得られないだけでなく、場合によっては劣化を促進させる結果を招く恐れもある。したがって、劣化調査結果を十分考慮した上で工法を選定を行うことが肝要である。

また、補修・補強の目的が、劣化によって低下した機能を当初設計の段階まで回復させることにあるのか、あるいは、当初設計の水準以上に機能を向上させることにあるのかを、構造物管理者と協議した上で、設計段階において定めておく必要がある。この場合、解析あるいは試験による診断から、目的を果たすための要求性能を把握し、材料や工法選定にあたらなければならない。

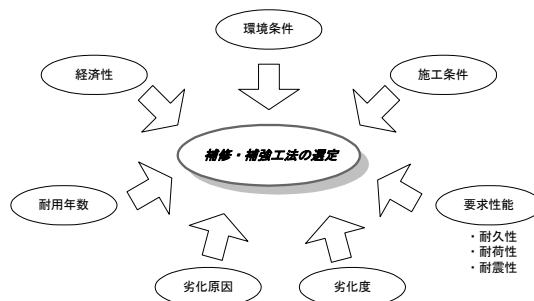


図 補修・補強設計の考え方の概念図

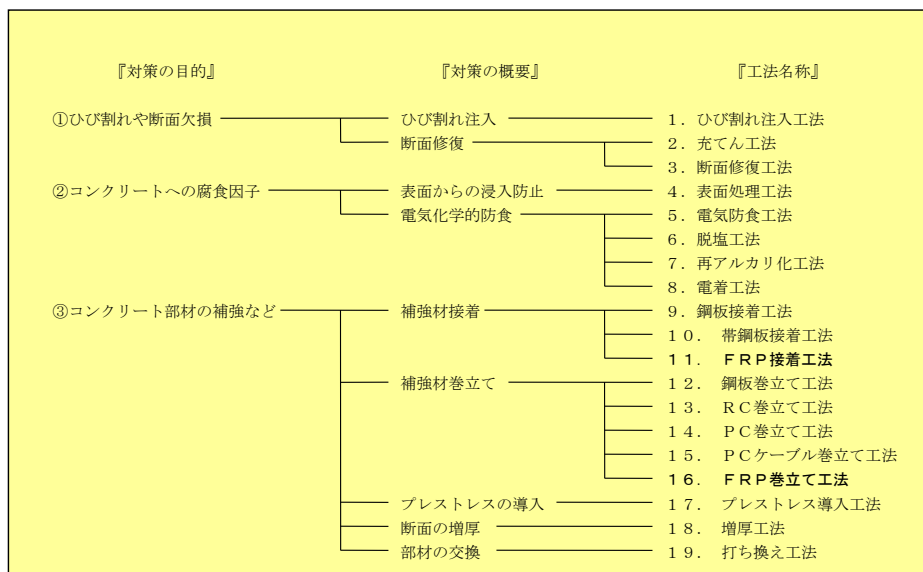
333

劣化機構と補修計画

劣化機構	補修方針	補修工の構成	補修水準を満たすために考慮すべき要因
①中性化	・中性化したコンクリートの除去 ・補修後のCO ₂ 、水分の浸入抑制	・断面修復工 ・表面処理 ・再アルカリ化	・中性化部除去の程度 ・鉄筋の防錆処理 ・断面修復材の材質 ・表面処理の材質と厚さ ・コンクリートのアルカリ性のレベル
②塩害	・浸入したCl ⁻ の除去 ・補修後のCl ⁻ 、水分、酸素の浸入抑制	・断面修復工* ・表面処理 ・脱塩	・浸入部除去の程度 ・鉄筋の防錆処理 ・断面修復材の材質 ・表面処理の材質と厚さ ・Cl ⁻ 量の除去程度
	・鉄筋の電位制御	・陽極材料 ・電源装置	・陽極材の品質 ・分極量
③凍害	・劣化したコンクリートの除去 ・補修後の水分の浸入抑制 ・コンクリートの凍結融解抵抗性の向上	・断面修復工 ・ひび割れ注入工 ・表面処理	・断面修復材の凍結融解抵抗性 ・ひび割れ注入材の材質と施工法 ・表面処理の材質と厚さ
④化学的侵食	・劣化したコンクリートの除去 ・有害化学物質の浸入抑制	・断面修復工 ・表面処理	・断面修復工の材質 ・表面処理の材質と厚さ ・劣化コンクリートの除去程度
⑤アルカリ骨材	・水分の供給抑制 ・内部水分の散逸促進 ・アルカリ供給抑制	・ひび割れ注入工 ・表面処理	・ひび割れ注入材の材質と施工法 ・表面処理の材質と厚さ
⑥疲労 (道路橋鉄筋 コンクリート床 版の場合)	・軽微な場合にはひび割れ進展の抑制 (大半は補強に該当する)		

334

補修・補強工法の例



335

各種補修工法の紹介

- (1) ひび割れ注入工法
- (2) 表面被覆工法
- (3) 充填工法
- (4) 浸透性塗布防水剤による防水工法
- (5) 鉄筋防錆工法
- (6) 断面修復工法
- (7) 縫合法(かすがい筋貼付工法)
- (8) 縫合法(鋼棒アンカー工法)
- (9) 縫合法(プレストレス導入工法)
- (10) 止水工法(充填補修)
- (11) 止水工法(表面塗布補修)
- (12) 止水工法(注入補修)
- (13) 電気防食工法(電気化学的補修工法)
- (14) 脱塩工法(電気化学的補修工法)
- (15) 再アルカリ化工法(電気化学的補修工法)

336

ひび割れ注入工法

●概要と特長

ひび割れ注入工法は、既設コンクリート部材に発生したひび割れに低粘度の樹脂や超微粒子セメントを圧入してひび割れを閉塞し、コンクリート内部への有害物質の侵入を遮断することによりコンクリートや鉄筋の劣化・腐食を防止する方法である。

また、低下したコンクリート構造物の剛性を回復させる効果も期待できる。

●適用部材など

コンクリート部材に発生したひび割れを対象とした耐久性回復。

●補修設計上の留意点

a. 使用材料

注入材としては低粘度エポキシ樹脂や超微粒子系セメントが一般的であるが、ひび割れ幅や充填目的によってはセメントミルクやセメントモルタルが用いられる。コンクリートとの接着性、ひび割れ追従性、水密性、細部充填性、価格などが選定の基準となっている。

b. 設計

ひび割れ注入可能な表面ひび割れ幅は0.2mm以上であり、それ以下のひび割れには注入工法は適用できない。また、湿潤している場合やひび割れ内部の劣化が著しい場合には十分な付着が得られないこともあるため、工法の適用に際して検討する必要がある。

●施工上の留意点

構造ひび割れや進行性のひび割れの場合は追従性の高い弾性型注入材を用いるが、ひび割れの伸縮量が大きい場合には弾性シーリング材の充填工法が適している。

337

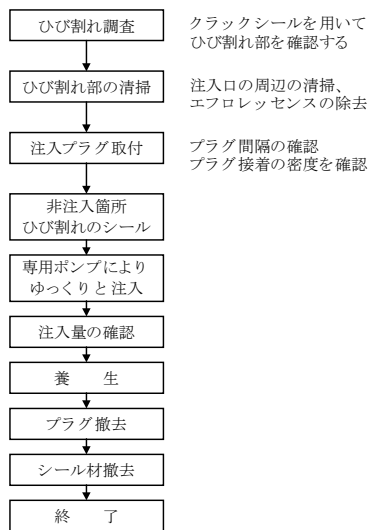


図 ひびわれ注入工法の施工フロー

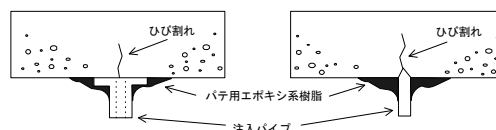
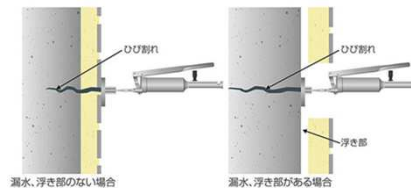


図 施工例の概念図

338

表面被覆工法

●概要と特長

表面被覆工法は、有機系または無機系の高分子材料を用いてコンクリート表面に保護層($t=0.1\sim 5.0\text{mm}$)を形成する工法である。

形成された連続膜が水分、二酸化炭素、塩素イオンなどの腐食物質のコンクリートへの侵入を防止することにより、コンクリートや鉄筋の劣化・腐食を抑制し、耐久性を向上させる。

●適用部材など

コンクリート全般。

●補修設計上の留意点

a. 使用材料

有機・無機系の高分子塗料やポリマーセメントモルタルなどが用いられる。コンクリート表層に浸透して連続膜を形成しない防水材もあり、多種、多様な材料・使用が提案されている。

b. 設計

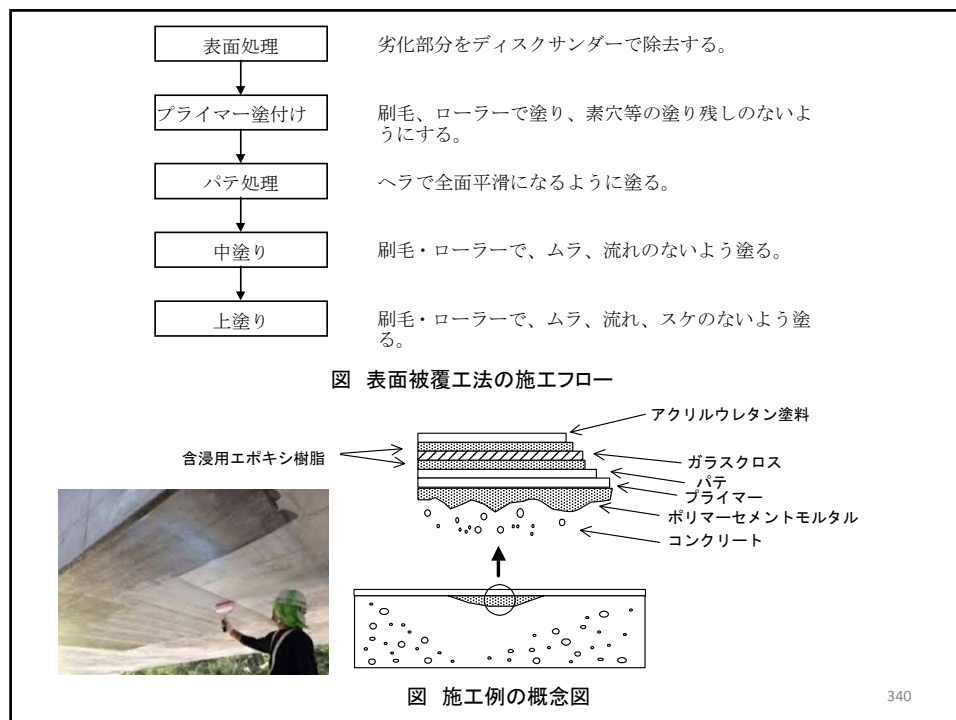
一般的には、劣化因子および環境条件により、材料と仕様が選定されている。仕様では上塗材に耐候性の機能を、中塗材に劣化因子遮断機能を持たせている。塗装前のコンクリートおよび鉄筋の表面処理が重要であり、塗装の耐久性を左右することが多い。

保護層に水蒸気などの透過性を持たせ、コンクリート中の水分を抑制する方法では、保護層の防水性と透湿性のバランスが要求される。

●施工上の留意点

鉄筋腐食が予想される場合は、塗装前に防錆処理を行う。劣化したコンクリートは取り除き、原断面に修復後塗装を行う。

339



充填工法

●概要と特長
 充填工法は、既設コンクリート部材に発生したひび割れや施工不良等による小断面欠損を補修する工法である。
 ひび割れの場合はひび割れに沿ってV字形状またはU字形状の溝を設け、その溝に充填材を施工する。断面欠損の場合は充填または注入可能な形状に整形し、充填を行う。
 目的は、コンクリートや鉄筋の劣化・腐食の抑制と単に防水性、美観の向上に大別される。

●適用部材など
 コンクリート部材に発生したひび割れ、ジャンカ、空洞、剥離などの断面欠損を対象とした耐久性能回復。

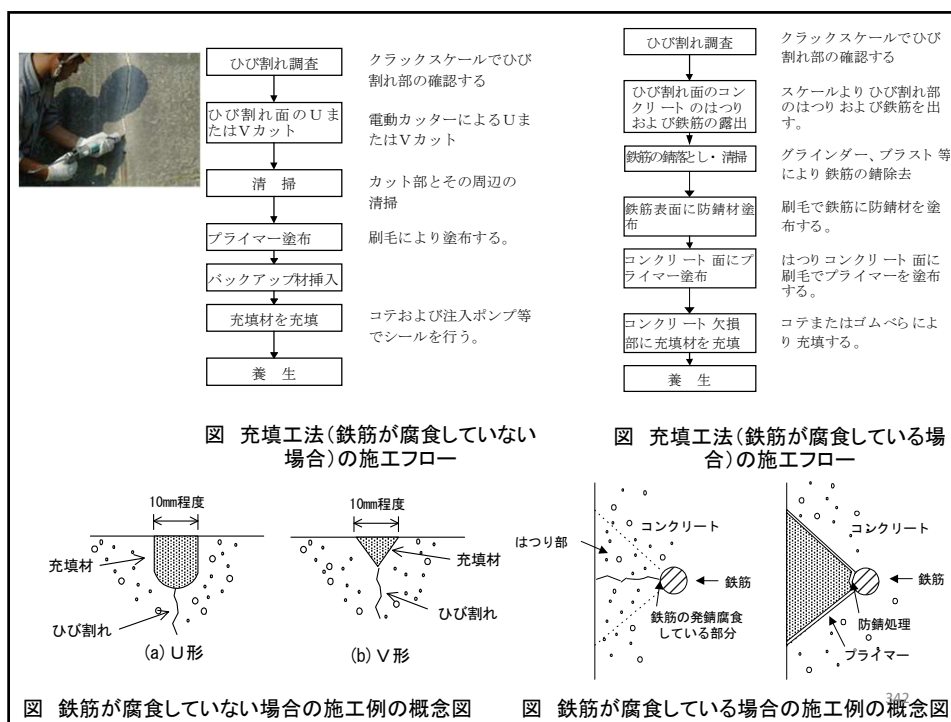
●補修設計上の留意点

a. 使用材料
 使用材料は多岐にわたり、無機・有機系の注入材、充填材から有機系の弾性モルタル、弾性シーリング材などが適用される。

b. 設計
 ひび割れへの追従性が要求されない場合は無機系材料が、追従性が必要な場合には要求性能に応じて有機系材料から選定される。
 コンクリートの付着面に湿潤や漏水がある場合には、乾燥や止水の前処理が必要である。無機系材料の施工では、逆に表面が湿潤状態で充填作業を行うほうが良い。

●施工上の留意点
 Vカットは施工が容易であるが、充填材の剥離や内部の水分が接着界面へ侵入しやすく、Uカット工法が望ましい。
 また、鉄筋が腐食している場合は、鉄筋位置までコンクリートをはつり取り、錆の除去と防錆処理を行わなければならない。

341



浸透性塗布防水剤による防水工法

●概要と特長

塗布するだけで、ひび割れ内部に浸透し、止水効果を発揮する塗布型防水剤を用いる。ひび割れ部に毛細管現象等の浸透圧によって浸透し、コンクリート中の水酸化カルシウム分と化学反応して、不溶性の物質を形成することにより止水効果を発揮するものである。

●適用部材など

コンクリート、モルタル、ALC。適用部位として、屋上防水、外壁防水、駐車場、浴場。

●補修設計上の留意点

a. 使用材料

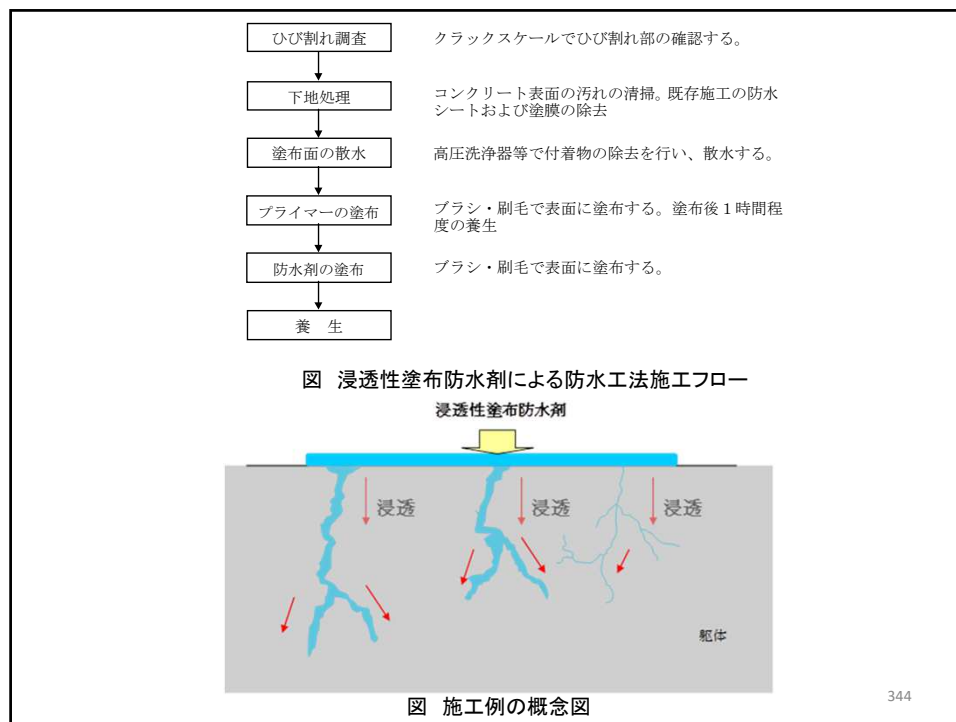
プライマー、浸透性塗布防水剤

b. 設計

適用可能なクラック幅は0.5mm以下であるが、実験では0.8mm程度まで適用できる結果を得ている。

●施工上の留意点

塗布時は躯体を常に湿潤状態にしておくこと。



鉄筋防錆工法

●概要と特長

コンクリート中の鉄筋が露出する要因は多々あるが、主に鉄筋の発錆による体積膨張でコンクリートが剥落するケースが多い。また、鉄筋の錆汁がひび割れを通してコンクリート表面に現れている場合なども多い。このような場合、コンクリートを鉄筋の健全な部分まではずり取り、パッチングを行う前に鉄筋の防錆処理を行わなければならない。

●適用部材など

損傷を受けた鉄筋コンクリート部材などの耐荷力回復、耐久性向上。

●補修設計上の留意点

a. 使用材料

発生した鋼材の腐食の進行を抑制または大幅に鈍化させるために鋼材を塗布する材料を用いる。錆転換型防錆材、樹脂系防錆材、ポリマーセメント系防錆材、変性エポキシ樹脂系防錆材等を使用する。

b. 設計

塩分、水分、酸素等のいずれかの浸透を防止するものでなければならない。同時に塗布面に強固な付着力を有し断面修復材料との良好な付着力も必要とされる。

●施工上の留意点

鉄筋が露出したままで長く放置されている場合、破壊面および鉄筋に塩分、炭酸化物、付着阻害物質等が付着しており、それらを除去するにはブラスト処理が最適である。

鉄筋防錆工法は、コンクリート断面修復の前段階処理と考えられているが、鉄筋コンクリート修復の根幹となるので、可能な限り完成時の性能を再現しなければならない。

345

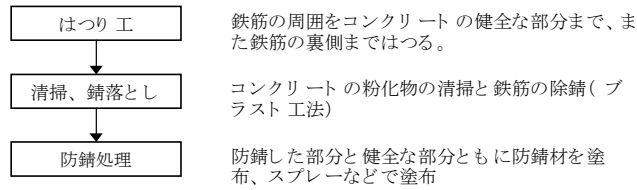


図 鉄筋防錆工法の施工フロー

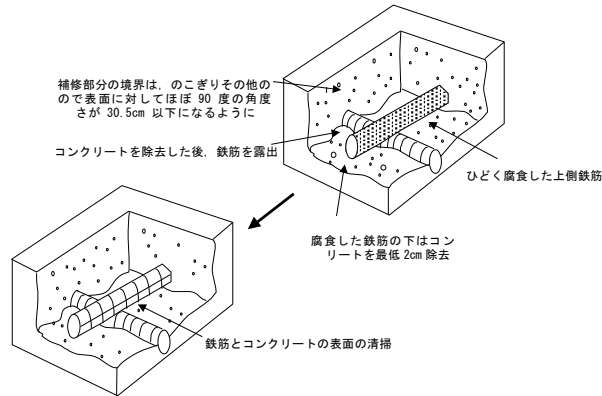


図 施工例の概念図

346

断面修復工法

●概要と特長

断面修復工法は、劣化・損傷を受けたコンクリートをはつり取った後に既設コンクリートとの一体性に優れた材料を用いて部材を原断面に復旧する工法である。

修復後の耐力力の回復やコンクリート劣化・内部鋼材腐食を防止することが目的である。

●適用部材など

塩害による損傷を受けた鉄筋コンクリート部材などの耐力力回復、耐久性向上。

●補修設計上の留意点

a. 使用材料

材料としてはセメントコンクリート、ポリマーセメント系のコンクリートやモルタルが用いられる。工法として左官工法、型枠充填工法、プレパッキング工法などが適用される。

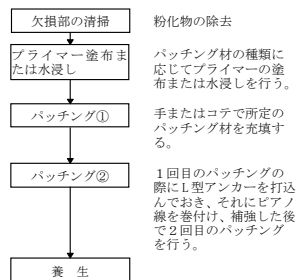
b. 設計

修復断面の大きさと施工条件により材料と工法が選択される。修復断面が小さい場合にはポリマーモルタルなどが用いられ、修復断面が大きく、逆打ち施工の場合にはポリマー系のプレパッキング工法が適用されている。

●施工上の留意点

はつり範囲を決定するための事前調査が重要である。はつり範囲が不足すると劣化要因が残存し、再劣化を招くことも希ではない。断面修復後に保護塗装を行うことが多い。

347



粉化物の除去

パッチング材の種類に応じてプライマーの塗布または水浸しを行う。

手またはコテで所定のパッチング材を充填する。

1回目のパッチングの際にし型アンカーを打込んでおき、それにピアノ線を巻付け、補強した後で2回目のパッチングを行う。

図 断面修復工法(モルタルパッチング工法)の施工フロー

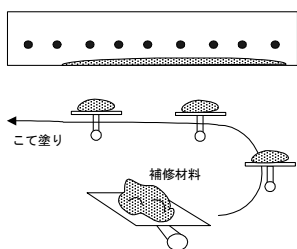
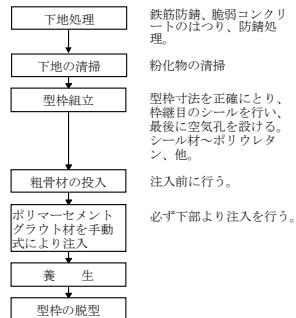


図 モルタルパッチング工法の施工例の概念図



鉄筋防錆、脆弱コンクリートのはつり、防錆処理。

粉化物の清掃

型枠寸法を正確にとり、枠継目のシールを行い、最後に空気孔を設ける。シール材～ポリウレタン、他。

注入前に行う。

必ず下部より注入を行う。

図 断面修復工法(プレパックドコンクリート工法)の施工フロー

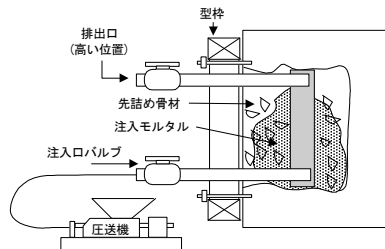


図 プレパックドコンクリート工法の施工例の概念図

縫合工法（かすがい筋貼付工法）

●概要と特長

ひび割れに垂直に「 $\sqcap$ 」形の鉄筋を埋め込み、エポキシ樹脂モルタル等で充填する。

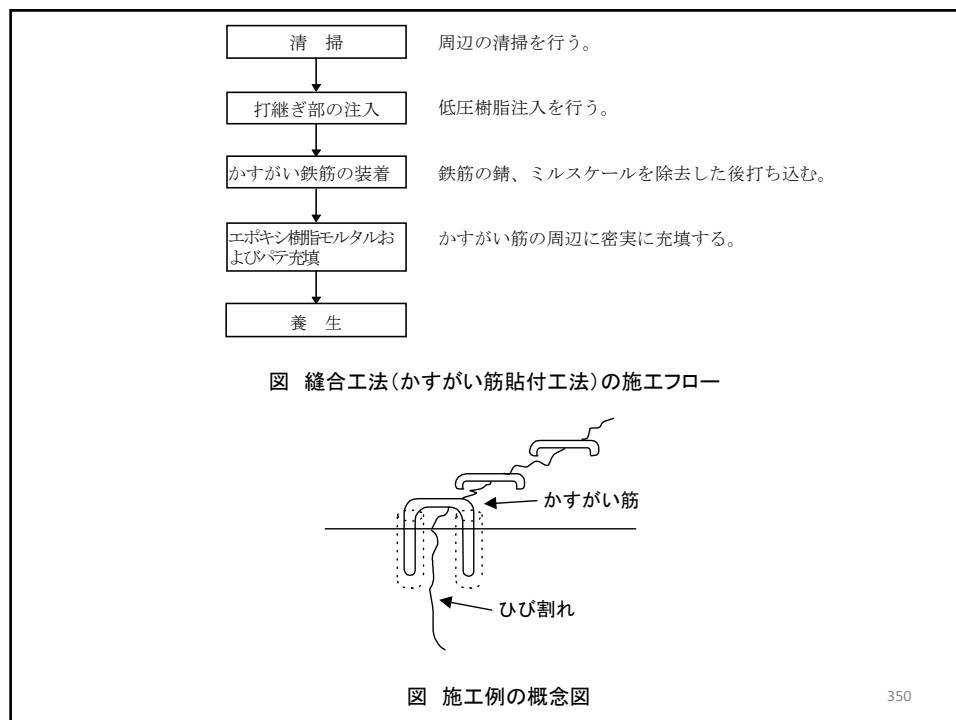
●適用部材など

比較的断面の薄い構造物（鉄筋の埋込みの出来ない程度）に適用され、床版のひび割れ補修等に用いられる。

●補修設計上の留意点

a. 使用材料

$\sqcap$ 形の鉄筋、エポキシ樹脂系モルタル。



350

縫合工法（鋼棒アンカー工法）

●概要と特長

ひび割れ、あるいはジョイント部に注入材を注入し、その後、ひび割れに沿って鋼棒を斜めに左右交互に挿入する方法で、鋼棒の長さは比較的長いもの(150mm以上)が使われる。

●適用部材など

アンカーの定着が十分なコンクリート構造物の比較的大きな構造クラック、コールドジョイント等に用いられる。

●補修設計上の留意点

a. 使用材料

鋼棒(アンカー)、セメントモルタル、エポキシ樹脂系モルタル。

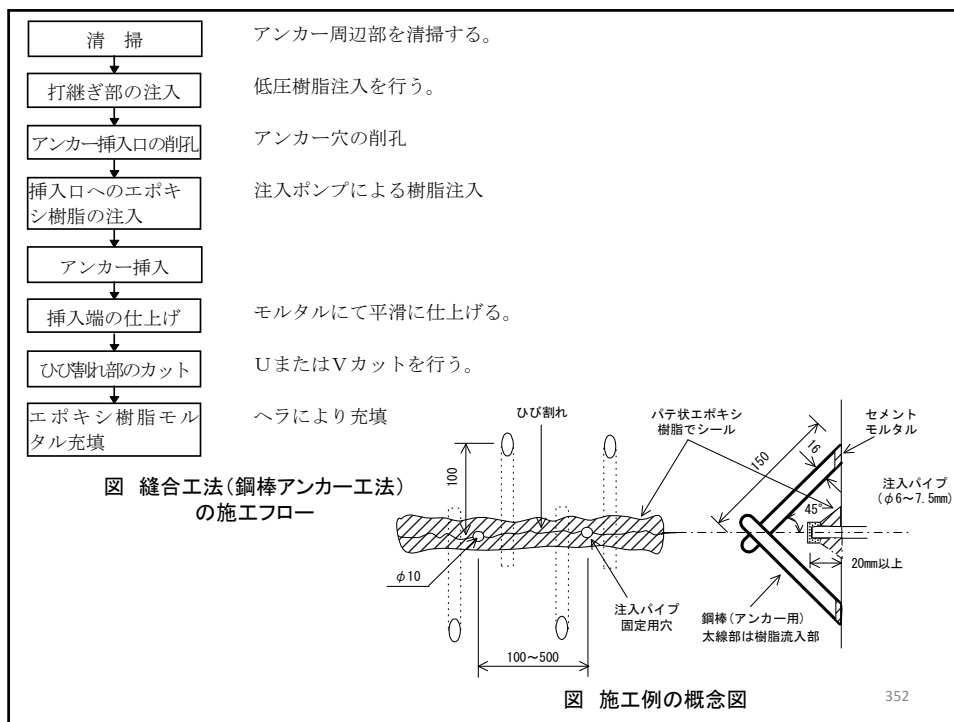
b. 設計

穴の直径と深さ・位置・間隔・鋼棒の種類と直径などはコンクリート構造物の種類、コンクリートの強度、鉄筋のかぶり厚さなどで決定されるが、一般に、穴の深さは直径の10倍以上とし、鋼棒を挿入した場合、穴との隙間は、小さい(薄い)方が、また、丸鋼より異形鉄筋を使用した方が接着による耐力は大きい。

●施工上の留意点

斜め筋は必ずひび割れを左右から貫通させなければならないこと、あるいは挿入口の距離が長いので、せん孔時の粉末の除去を入念に行わなければならないこと等の注意が必要である。また、注入後のシールも忘れてはならない。

351



縫合工法（プレストレス導入工法）

P C 鋼材の取付け

躯体を貫通するよう取付け。

プレストレスの導入

図 縫合工法(プレストレス導入工法)の施工フロー

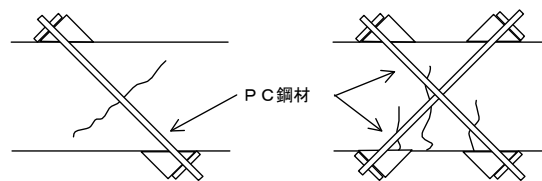


図 施工例の概念図

354

止水工法（充填補修）

●施工上の留意点

コンクリートの脆弱部へ漏水箇所が移行する場合がありますので、そのつど止水セメントの充填を続ける必要がある。

カット

漏水箇所のVカット、またはランダムなカット

止水セメント 混練

混練した止水セメントを漏水源の周囲からスポット に向かい充填していく。

スポット ホース
の挿入

漏水が多い時は、スポット ホースを挿入し、その
回りを止水する。

木栓による 充填

を挿入する。周囲のセメント 硬化の確認後、ホー
スを抜き、木栓を挿入する。

スポット の止水セメ
ントの充填

木栓の上から、止水セメントを充填し、押さえ込
む。

図 止水工法(充填補修)の施工フロー

355

止水工法（表面塗布補修）

●施工上の留意点

浸透水が他へ移行する場合も考えられるので注意しなければならない。

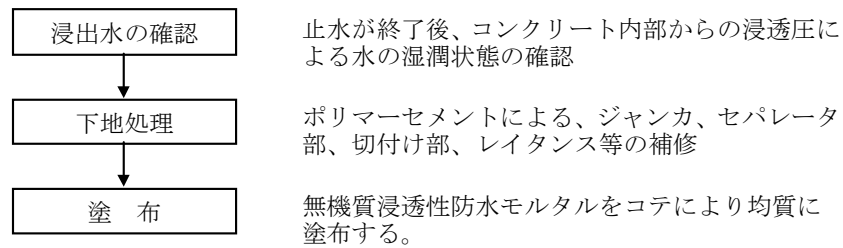


図 止水工法(表面塗布補修)の施工フロー

356

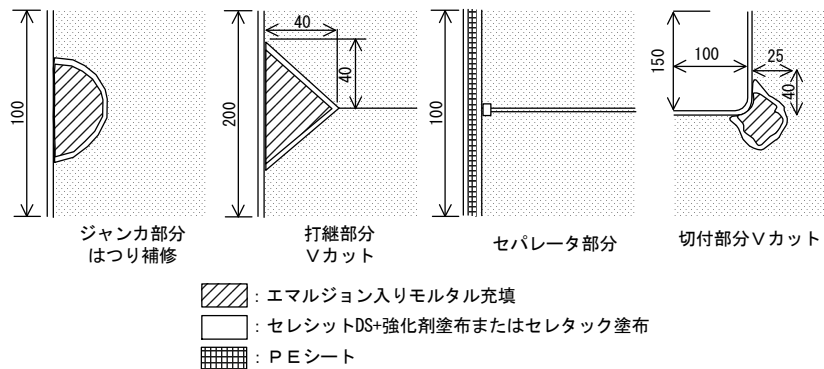


図 下地の調整仕様例

357

止水工法（注入補修）

●施工上の留意点

いったん止水された水は、必ず他へ移行するので処理後の追跡も重要である。

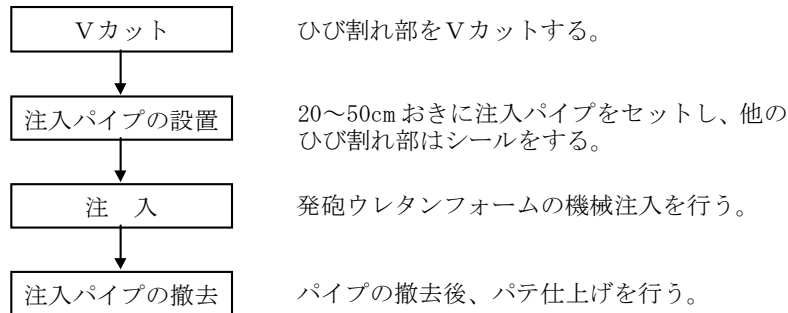


図 止水工法(注入補修)の施工フロー

358

電気防食工法

●概要と特長

電気防食工法は、コンクリート中の鋼材に腐食電流と逆方向の電流を強制的に流すことにより、鋼材の腐食進行を停止させる工法である。コンクリート中の鋼材の腐食が電気化学的反応であることを利用しており、外部より電流を供給する外部電源方式と電流装置を必要としない流電陽極方式がある。

●適用部材など

鋼材腐食環境下にあるコンクリート構造物全般。

●補修設計上の留意点

a. 使用材料

外部電源方式では不溶性陽極としてチタンや白金が、オーバーレイとしてモルタルや導電性塗料が用いられる。流電陽極方式では亜鉛が犠牲陽極として用いられる。

b. 設計

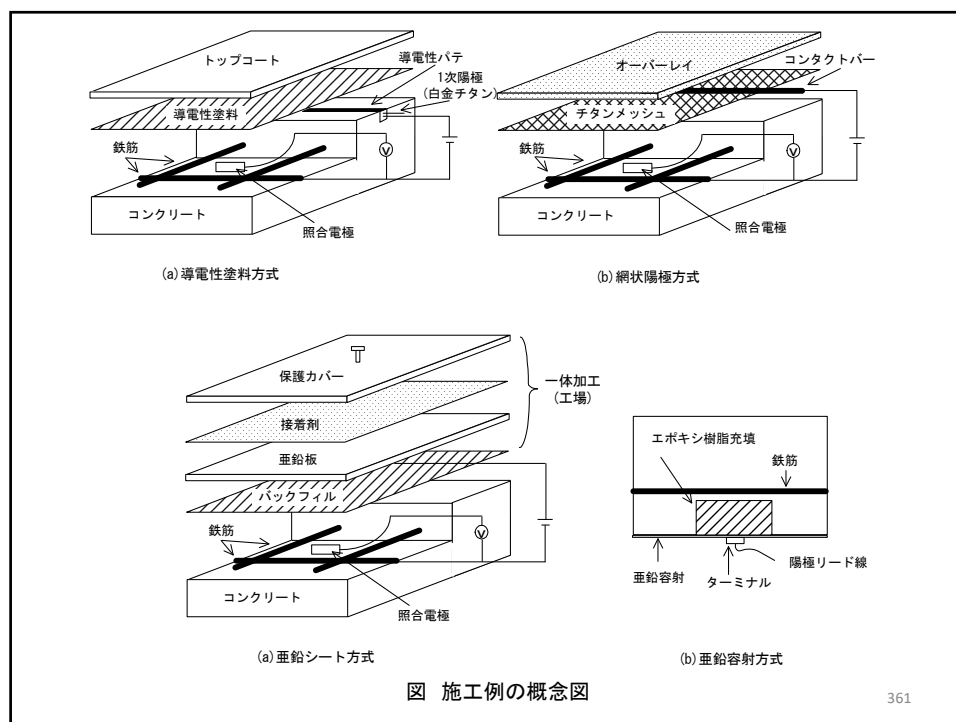
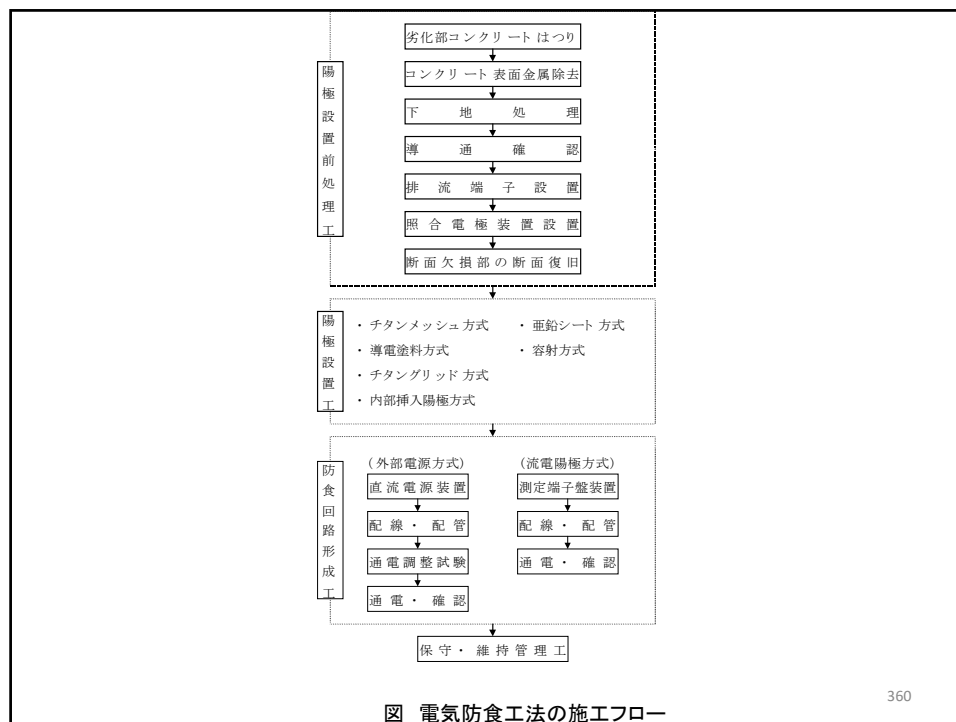
コンクリート中の塩分や環境条件には左右されない。

外部電源方式では目標電流量を得るための初期電源電圧を設定する。装置の耐久性が確保されれば、モニタリングを行いながら半永久的な防食が可能である。

●施工上の留意点

浮き部や脆弱部のコンクリートは取り除く。オーバーレイやバックフィルとコンクリートとの密着を十分に取る。

359



脱塩工法

●概要と特長

脱塩工法は、再アルカリ化工法とともにノルウェーで開発された工法である。原理は外部電源方式による電気防食工法と同じであるが、この時生じた電氣的勾配を利用して塩素イオンをコンクリート表面から排出させる工法である。

大きな電流密度で通電することにより、短期間で塩分の除去を可能にしている。

●適用部材など

鋼材腐食環境下にあるコンクリート構造物全般。

●補修設計上の留意点

a. 使用材料

使用するアルカリ電解質は炭酸ナトリウムなどが用いられ、パルプ屑などに湿してコンクリート表面に吹き付ける。この材料中に陽極材を設置する。

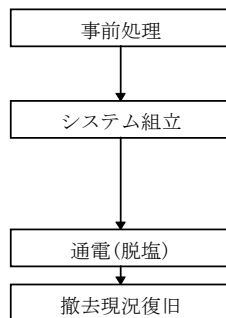
外部に型枠を設置してコンクリートと型枠の間に電解質を貯留させるなどの方法も提案されているようである。

b. 設計

通電により陽極に陰イオンである塩素イオンを引き寄せる。同時に陽イオンであるナトリウムイオンが鉄筋側に移動して、再アルカリ化が起こる。

排出された塩素イオンの処理が重要である。

362



コンクリート表面の被覆材撤去
コンクリート劣化部はつり、断面修復
コンクリート表面の電氣的障害箇所の処理

鉄筋へのリード線取付、導通確認
システムパネルの取付
直流電源の設置、配線
ポンプ、タンクの設置、電解質溶液供給

通電処理(56日間)

処理効果の確認
清掃片付、仮設物の撤去、復旧

図 脱塩工法の施工フロー

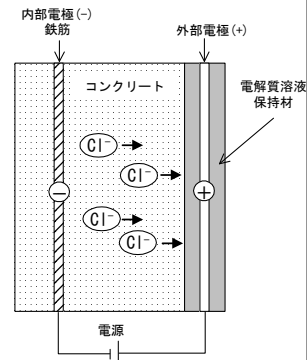


図 施工例の概念図

ファイバー方式	パネル方式	ボンディング方式
保持材として、セルローズファイバーを使用	保持材として、樹脂製平板を使用	コンクリートに溶液を溜める槽を作る

363

再アルカリ化工法

●概要と特長

再アルカリ化工法は脱塩工法と全く同じ原理である。アルカリイオンを電氣的に泳動(浸透)させて鉄筋近傍をアルカリ環境に変えるとともに、炭酸イオンを排出してコンクリートの炭酸化や鉄筋の腐食を防止する工法である。

●適用部材など

コンクリート構造物全般。

●補修設計上の留意点

a. 使用材料

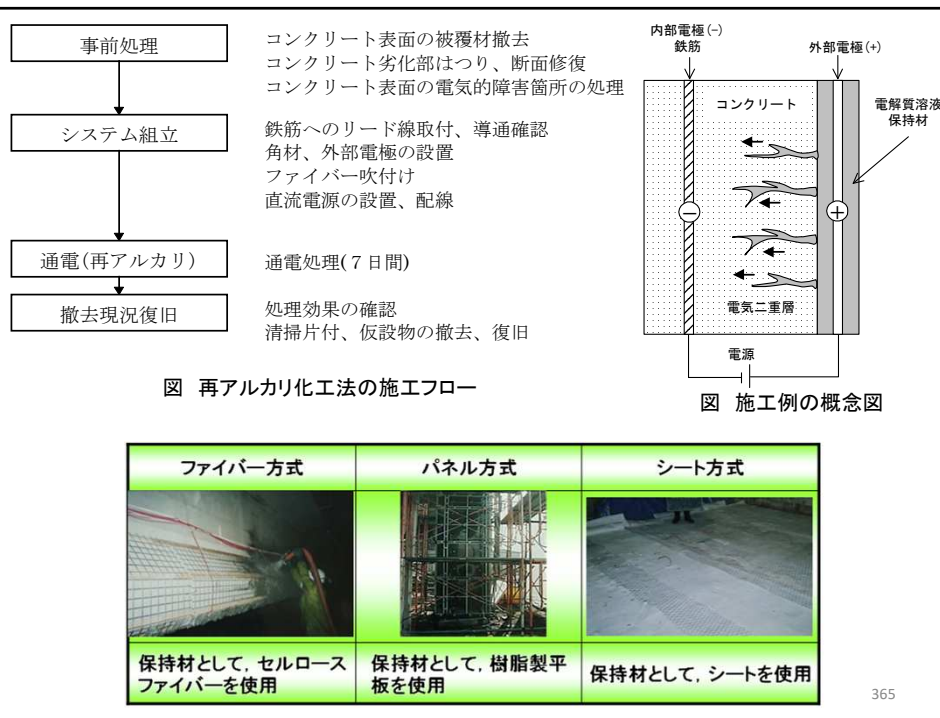
使用するアルカリ電解質は炭酸ナトリウムなどが用いられ、パルプ屑等に湿してコンクリート表面に吹き付ける。この材料中に陽極材を設置する。

外部に型枠を設置してコンクリートと型枠の間に電解質を貯留させるなどの方法も提案されているようである。

b. 設計

通電により、陰極である鉄筋側に陽イオンであるナトリウムイオンが引き寄せられる。同時に炭酸イオンが排出される。

364



365

各種補強工法の紹介

表 各種補強工法の分類

対策の目的	対策の概要	番号	工法名称
①コンクリート部材の補強など	鋼板接着	(1)	鋼板接着工法
		(2)	帯鋼板接着工法
	FRP 接着	(3)	MMA 樹脂を用いた FRP 接着（巻立て）工法
		(4)	RC 巻立て工法
	橋脚巻立て	(5)	鋼板巻立て工法
		(6)	プレキャストパネル巻立て工法
		(7)	吹付けモルタル工法
		(8)	PC 巻立て工法
		(9)	PC ケーブル巻立て工法
	断面の増厚	(10)	部材増厚工法
	プレストレスの導入	(11)	アウトケーブル工法
	部材の交換	(12)	打ち換え工法
②構造体としての補強など	はりの増設	(13)	はり（桁）増設工法
		(14)	耐震壁増設工法
	壁の増設	(15)	袖壁増設工法
③基礎に関する補強など	杭・フーチングの増設	(16)	杭・フーチング増設工法
		(17)	杭のひび割れ注入工法

366

表 補強工法別の適用部材

番号	工法名称	部材の種別				
		はり	柱	スラブ	壁	杭
(1)	鋼板接着工法	○	○	○	○	—
(2)	帯鋼板接着工法	○	○	○	○	—
(3)	MMA 樹脂を用いた FRP 接着（巻立て）工法	○	○	○	○	—
(4)	RC 巻立て工法	—	○	—	○	—
(5)	鋼板巻立て工法	—	○	—	△	—
(6)	プレキャストパネル巻立て工法	○	○	—	○	—
(7)	吹付けモルタル工法	—	○	—	○	—
(8)	PC 巻立て工法	—	○	—	—	—
(9)	PC ケーブル巻立て工法	—	○	—	—	—
(10)	部材増厚工法	○	—	○	—	—
(11)	アウトケーブル工法	○	—	○	—	—
(12)	打ち換え工法	○	○	○	○	—
(13)	はり（桁）増設工法	○	—	○	—	—
(14)	耐震壁増設工法	—	○	—	○	—
(15)	袖壁増設工法	—	○	—	○	—
(16)	杭・フーチング増設工法	—	—	—	—	○
(17)	杭のひび割れ注入工法	—	—	—	—	○

○：適用部材に合致している。

△：適用部材に完全には合致しないが、使用されることがある。

—：適用部材に合致しない。

367

鋼板接着工法

●概要と特長

鋼板接着工法は、既設コンクリート部材に鋼板をアンカーボルトで固定し、コンクリートと鋼板の間にエポキシ樹脂等を注入することにより一体化させ、耐荷力の回復もしくは向上を図る工法である。外部鋼板が既設部材に対して鉄筋量を増加したことで同等の効果が期待出来る。

一方、補強後のコンクリートの劣化状況を直接追跡できない等の問題もある。

●適用部材など

橋脚の基部または段落し部の曲げおよびせん断補強。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

鋼板はSS400、注入材はエポキシ樹脂が一般的である。美観上の問題から取り付けボルトに皿ボルトを用いる例も多い。

また、壁式橋脚では躯体に貫通ボルトを定着して、せん断補強を行う場合もある。

b. 設計

曲げに対しては鉄筋量が増加したものとして通常のRCと同様に設計を行う。せん断に対しては鋼板を帯鉄筋に換算して補強量を計算する。

壁式橋脚ではせん断ひび割れに抵抗させるため、中間帯鉄筋が必要であり、貫通ボルトを用いてこれにあてる。

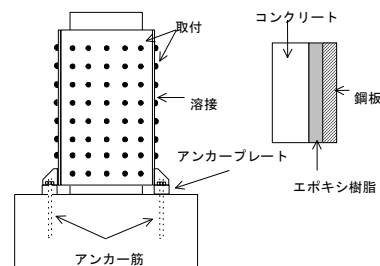
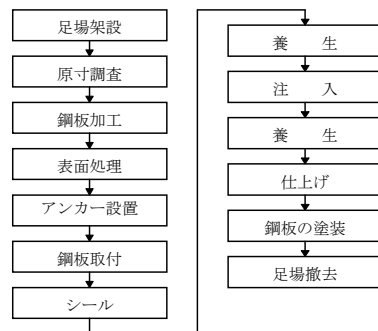
鋼板の厚さは補強量により決定されるが、溶接性や出来型形状の安定性などの観点から6mm以上の鋼板が用いられている。

●施工上の留意点

エポキシ樹脂の注入間隙はコンクリート表面の不陸と経済性の兼ね合いから4～5mmで設計されている。アンカーボルトはM12～M16が多く用いられ、ピッチは角柱では500mm以内、円柱では、1000mm以内で定着されている。

補強鋼板の継手は主に現場溶接が用いられている。

368



（基部の補強では鋼板防錆のため、地中部はコンクリートの根巻きを行う。）

図 鋼板接着工法の施工フロー

図 施工例の概念図

369

帯鋼板接着工法

●概要と特長

帯鋼板接着工法は、既設コンクリート部材に細幅鋼板を必要量だけ一定の間隔で接着する工法である。主筋方向には両端を定着し、主筋直角方向には端部を溶接などにより閉合する。各々曲げ、せん断に対する補強を独立して行うことが可能である。

●適用部材など

橋脚の基部または段落し部の曲げおよびせん断補強。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

細幅鋼板はSS400、接着剤にはエポキシ樹脂が用いられる。

b. 設計

曲げ、せん断に対して、細幅鋼板を鉄筋コンクリート部材の鉄筋量が増加したのとして設計することが可能である。

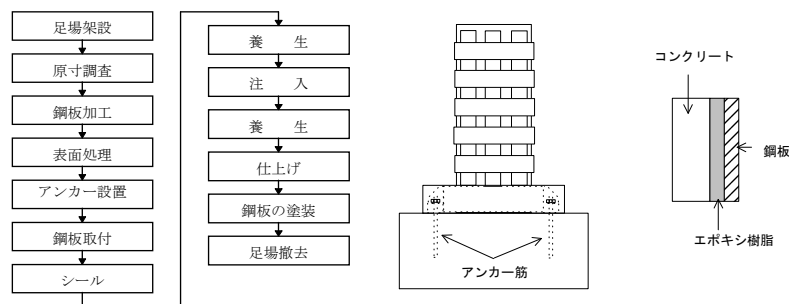
基部の曲げ補強を行う場合は、軸方向の鋼板をフーチングに定着しなければならないが、じん性の向上のみを図る場合には端部をフーチングに定着しなくても良い。

●施工上の留意点

両方向補強を行う場合には、主筋方向を先に施工する。

アンカーボルトを500mm程度のピッチで設置する。

370



（基部の補強では鋼板防錆のため、地中部はコンクリートの根巻きを行う。）

図 帯鋼板接着工法の施工フロー

図 施工例の概念図

371

MMA樹脂を用いた炭素繊維シート接着（巻立て）工法

●概要と特長

FRP接着工法は、既設コンクリート部材に炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維などの連続繊維を接着材を用いて含浸接着する工法である。

繊維の補強方向により曲げ、せん断補強が可能で、これらの補強繊維が既設部材に対して鉄筋量を増加させたものと同等の効果が期待できる。

軽量で取り扱いが容易であり、錆びない、高強度・高弾性・高耐久性といった特長を有する。

●適用部材など

橋脚、梁および床版、トンネル覆工等の各種コンクリート構造物の曲げ耐力およびせん断耐力向上、保有じん性能向上。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

炭素繊維には高強度型と高弾性型があり、各々鋼材の物性を凌駕している。アラミド繊維は高強度で炭素繊維に比べて伸びが大きい。ガラス繊維の物性は両者よりかなり低い。

含浸接着剤としてMMA（メチルメタクリレート）樹脂を用いている。従来、炭素繊維シートの接着剤として用いられているエポキシ樹脂は、一般に低温時の硬化速度が遅く、冬期の施工に課題が残る。MMA樹脂は低温硬化性に優れていることにより、1年を通じて作業が可能である。また、速硬化性を有することにより、短時間施工、早期開放が可能となる。

b. 設計

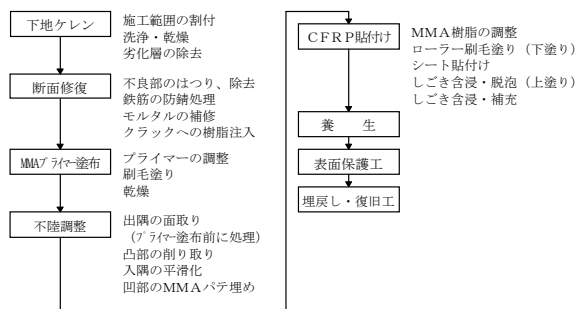
補強繊維に方向性があるので、設計に当たっては応力方向を考慮する必要がある。曲げに対しては、補強繊維の物性に低減係数を考慮して通常のRC計算により設計できる。せん断に対しても曲げと同様に帯鉄筋として補強量を計算できる。

補強繊維の引張強度に対する低減係数は0.6～0.8が、許容引張応力度としては引張強度の1/3の値が用いられている。

●施工上の留意点

継手長は10cm以上で施工している。角折れによる強度低下や施工不良を防ぐため、隅角部はR=20mm以上の面取りを行う。なお、コンクリートのひび割れは事前に補修しておく。

372



もたれ式護岸擁壁の曲げ補強

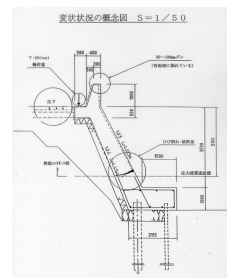


図 炭素繊維シート工法の施工フロー



図 柱のじん性実験



補強前



補強後

373

RC巻立て工法

●概要と特長

RC巻立て工法は、既設コンクリート部材の周囲にコンクリートを打ち足し、耐荷力の回復もしくは向上を図る工法である。本工法では、新旧コンクリートの一体化が重要であり、打ち継ぎ面の処理や基部におけるアンカーの定着などが重要である。

●適用部材など

橋脚基部または段落し部の曲げおよびせん断補強。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

コンクリートは乾燥収縮が少なく、高強度で早強性のあるものが望ましい。急速施工を要求される場合には吹付けコンクリート・モルタルを用いることもある。

挿し筋アンカーの定着はエポキシ樹脂がよく用いられている。

b. 設計

死荷重に対しては既設の断面で、変動荷重に対しては合成断面で抵抗するものとして設計を行うのが一般的である。なお、巻立てコンクリートの自重はかなり大きいので、基礎構造への影響が無視できない場合もあり得るので注意が必要である。

●施工上の留意点

既設コンクリート表面はチッピングまたはショットブラスト処理を行う。

フーチングへの定着アンカーピッチは、500mm以内が多く、定着長は、アンカー径の15倍以上が一般的である。定着材料にはエポキシ樹脂、ポリエステル樹脂、セメント系膨張材などが用いられている。

374

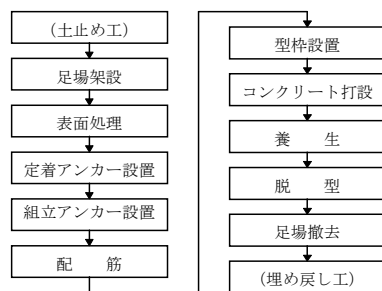


図 RC巻立て工法の施工フロー

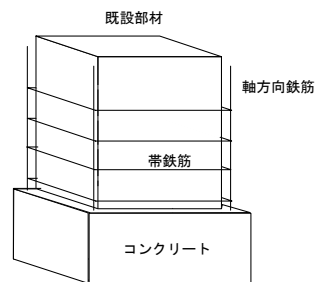


図 施工例の概念図

375

鋼板巻立て工法

●概要と特長

鋼板巻立て工法は、既設コンクリート構造物の周囲に鋼板を巻立て、コンクリートと鋼板の間にエポキシ樹脂や無収縮モルタルを充填して耐荷力の向上を図る工法である。

外部鋼板が既設部材に対して帯鉄筋量を増加させたと同等の効果が期待される。

●適用部材など

橋脚のせん断補強。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

鋼板はSS400、 $t=6\sim12\text{mm}$ が一般的である。間隙厚さが $30\sim50\text{mm}$ 程度の場合が多く、充填材料にはエポキシ樹脂や無収縮モルタルが用いられている。

b. 設計

せん断に対しては、外部鋼板を帯鉄筋による補強量として設計することができる。

併せて基部補強を施すことにより内部コンクリートの圧壊を抑制し、柱の変形性能を大きく向上させることが可能である。

立体ラーメンを補強する場合は、補強柱の対称位置にある柱も補強を行い、耐荷力をシンメトリックに増強する方法もある。

●施工上の留意点

充填厚さが大きくなると、側圧により鋼板の変形の恐れがあるため、エポキシ樹脂または無収縮モルタルの注入時には支保工を設けたほうがよい。

376

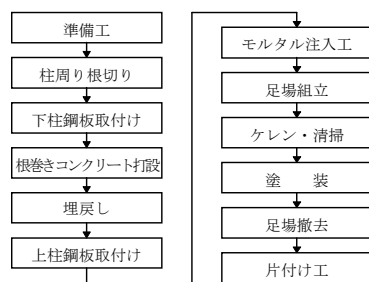


図 鋼板巻立て工法の施工フロー

鋼板巻立て
補強工法

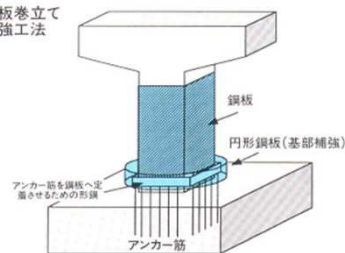


図 施工例の概念図

377

プレキャストパネル巻立て工法

●概要と特長

内部に帯鉄筋等を配置したプレキャストパネルを柱周面に配置し、接合キーにより閉合し、柱とパネルの隙間にグラウト材を注入することで一体化し増強を図る工法である。

プレキャスト部材(工場製品)を用いるため、塗装・保護工は不要で、表面の仕上がりがよい。

●適用部材など

橋脚のせん断補強。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

補強用プレキャストパネル、型枠接続用継手、充填材等。

b. 設計

補強による自重増で基礎の重量負担が増加することを配慮する。

●施工上の留意点

プレキャストパネルを固定する適切な継手が必要である。

378

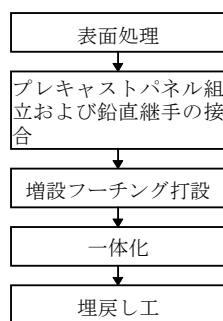


図 プレキャストパネル工法の施工フロー

379

吹付けモルタル工法

●概要と特長

既設部材に帯鉄筋やスパイラル鉄筋等を配置し、モルタルを吹付け一体化することにより、増強を図る工法である。PC鋼線等を用いることも可能である。

●適用部材など

一般に、コンクリート巻立て工法に比べて部材断面の増加が少なく、ラーメン高架橋柱等にも適用しやすい。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

吹付けモルタル、鉄筋、ビニロンメッシュ等

b. 設計

吹付けモルタルによる自重増で基礎の重量負担が増加することを配慮する。

●施工上の留意点

適切な継手が必要である。

380

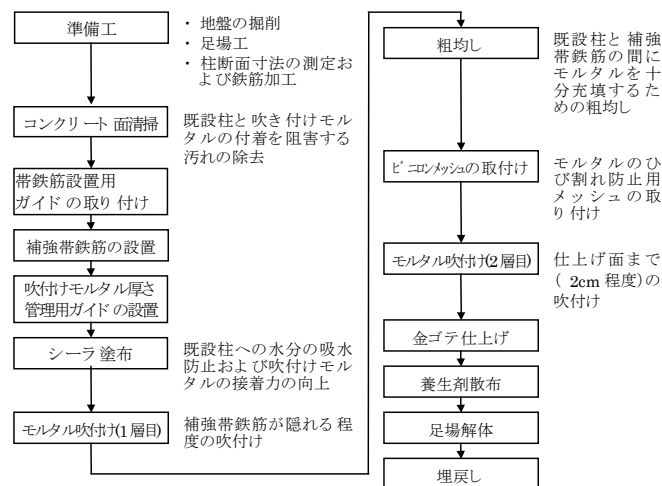


図 吹付けモルタル工法の施工フロー

381

PC巻立て工法

●概要と特長

PC巻立て工法は、既設コンクリート部材をコンクリートで巻き立てた後、巻き立てたコンクリートにプレストレスを導入する方法である。巻き立てたプレストレスコンクリートが既設部材と一体になって、曲げおよびせん断耐力の向上を図ることが可能である。

●適用部材など

橋脚の曲げおよびせん断補強。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

コンクリートは乾燥収縮が少なく、高強度で早強性のあるものが望ましい。アンカーは樹脂による挿し筋アンカー、膨張材はPC鋼棒が一般的である。

b. 設計

RC巻き立てと同様に設計を行うが、さらにプレストレス量を曲げ、軸力およびせん断に対して合成断面として設計できる。また、プレストレスを導入することによりRCの巻立て断面を小さくすることも可能である。

●施工上の留意点

RC構造もしくはPC構造の構造細目に従う。

382

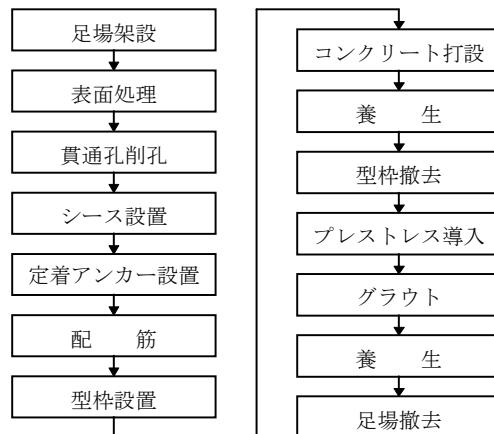


図 PC巻立て工法の施工フロー

383

PCケーブル巻立て工法

●概要と特長

PCケーブル巻立て工法はアンボンドもしくはアフターボンドPC鋼材を用いて耐荷力を向上させる工法である。既設コンクリート部材の周囲にPC鋼材を巻き付け、プレストレスを導入することによって、せん断に対して帯鉄筋を増加させたのと同様以上の効果が期待できる。

●適用部材など

橋脚のせん断補強。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

PC鋼より線（アンボンドもしくはアフターボンドケーブル）はCCLグリップを用いて定着を行う。鋼製定着ブロックを使用すれば容易にプレストレスが導入できる。

プレストレス導入後、コンクリートもしくはモルタルを吹き付けなどにより、増し打ちして定着部の防錆を図る。

b. 設計

せん断に対して、PC鋼材の断面を帯鉄筋量に換算して補強量を設計できる。この時導入されるプレストレス量により補強量が向上するため、より効果的な設計が可能になる。

●施工上の留意点

PC鋼より線は12.4～17.8mm、引張荷重160～387kN程度のものが用いられる。矩形断面の場合はプレキャストブロックなどを用いて、円形もしくは楕円形に整形する必要がある。

384

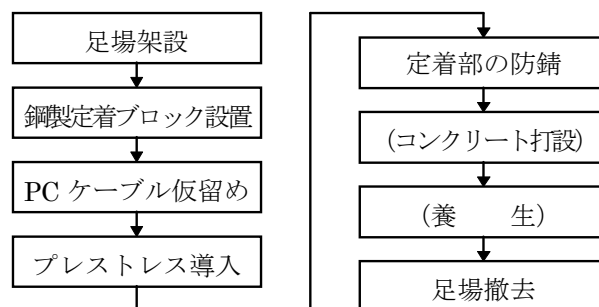


図 PCケーブル巻立て工法の施工フロー

385

部材増厚工法

●概要と特長

増厚工法とは、既設コンクリート部材にコンクリート・モルタルなどを打ち足し、抵抗断面を増加させて耐荷力の回復もしくは向上を図る工法である。RCスラブの適用例が多く、スラブの上面または下面を増厚する方法がある。増厚断面に直交配筋を行う場合もある。

注) 柱や壁などの部材に対するものは「巻立て工法」分類した。

●適用部材など

主として、はりやスラブなどの曲げおよびせん断補強。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

コンクリートは、鋼やプラスチックの短繊維を混入したものが用いられることが多い。下面増厚の場合はポリマーセメントモルタルや樹脂モルタルが用いられ、溶接金網などを併用する。

b. 設計

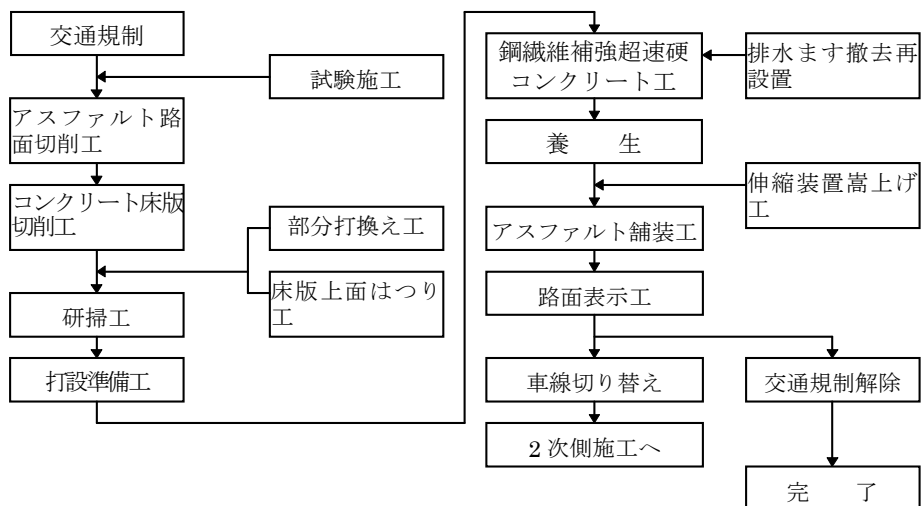
増厚部材を含めて、死荷重に対しては既設断面で、活荷重に対しては合成部材断面で抵抗するものとして設計できる。既設部材と増厚部材も付着が重要である。確実な一体化を図らなければならない。なお、増厚部材の重量が大きくなるため、支持部材に対する影響について照査する必要がある。

●施工上の留意点

打設厚はコンクリートで50～70mm、モルタルでは15～30mm程度である。新たな配筋を行う場合はかぶりをできるだけとることが望ましい。

打ち継ぎ目にはプライマーやコンクリートアンカーを用いて一体化を図る場合もある。

386



(鋼繊維補強コンクリートによる上面増厚の場合)

図 部材増厚工法の施工フロー

387

アウトケーブル工法（プレストレス導入工法）

●概要と特長

プレストレス導入工法は、緊張材を用いてコンクリートにプレストレスを与え、部材に発生する引張り応力を低減することにより、耐荷力の回復もしくは向上を図る工法である。

部材もしくは構造物全体に対して曲げモーメント、せん断力、軸力の作用状態を変えることが可能であり、また、変形状態の改善にも用いられる。緊張には内ケーブル方式と外ケーブル方式がある。

●適用部材など

はりやスラブなどの曲げおよびせん断補強。段落し部の曲げ補強。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

緊張材としては、PC鋼棒、PC鋼線が一般的であるが、炭素繊維やアラミド繊維などの連続繊維も研究されている。

通常のコンクリート部材用材料の他に緊張材、定着装置、シース、グラウトなど多くの材料を使用するため、綿密な品質管理および施工管理が必要である。

b. 設計

導入プレストレスが既存部材に発生する引張応力を減少させるため、曲げおよびせん断に対して合成断面として設計できる。また、大きな軸力を導入することにより変形性能の改善やひび割れの制御を行うことも可能である。

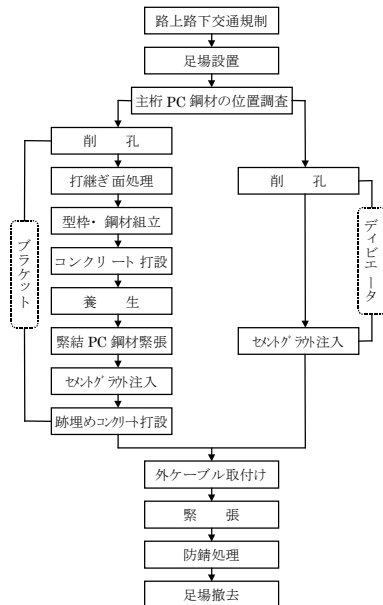
プレストレス導入のためのコンクリートを打ち足したり、定着装置を取り付けたりする場合には新たな死荷重増加に対して断面力の算定をする必要がある。

●施工上の留意点

既設部材に貫通孔を設ける場合には、主筋に損傷を与えないように注意する。

その他は通常のRC構造およびPC構造の構造細目に従う。

388



補修前



補修後

出典：日本コンクリート工学会「コンクリート構造物の劣化および補修事例集」より

389

図 アウトケーブル工法（プレストレス導入工法）

打ち換え工法

●概要と特長

打ち換え工法とは、損傷を受けた既設部材の一部もしくは全部を新しい材料と取り替える工法で、現場打ちによる取り替えとプレキャスト部材による交換がある。打ち換えられた部材が既設部材と同一断面の場合は耐力力の回復となり、既設部材に対して断面や補強量を増加させることで耐力力の向上を図ることが出来る。

●適用部材など

ほとんどすべてのコンクリート部材。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

通常のコンクリートや鋼材。繊維補強コンクリート。プレキャスト部材の場合は、鋼・コンクリート合成部材やプレストレスと部材なども用いられている。

b. 設計

通常の鉄筋コンクリート構造もしくはプレストレストコンクリートとしての設計を行う。ただし、施工中の部材撤去に伴う断面や構造形式の変化に対する検討を行う必要がある。
また、PC部材の打ち換えを行う場合には、各施工段階のプレストレスの状態についても検討する必要がある。

●施工上の留意点

打ち換え部分の大きさは、補強鉄筋の重ね継手長、定着長を考慮して決定する。
既設部材と新設部材の打ち継ぎ目は、断面力の小さな位置に設ける。

390

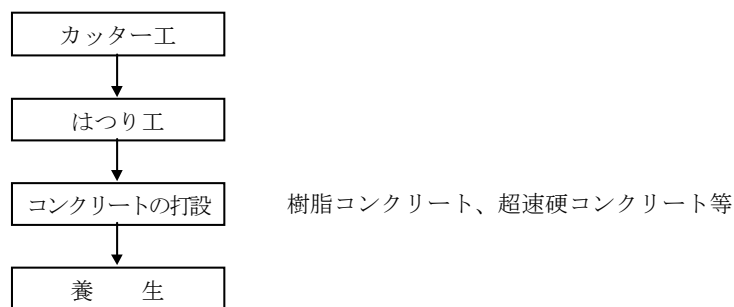


図 打ち換え工法の施工フロー

391

はり（桁）増設工法

●概要と特長

桁（はり）の増設工法とは、主としてスラブを補強する工法で、既設の主桁間に新たな桁（はり）を設置して床版支間を短縮することにより、作用曲げモーメントを低減させる方法である。

橋梁床版に適用する場合は通行車輛の規制を伴わないことや補強後の床版コンクリートの劣化進行を直接監視できる利点がある。

●適用部材など

橋梁などのスラブの曲げ補強。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

一般の鋼材、コンクリートなど。

補強鋼材とスラブの間隙充填材にはエポキシ樹脂や無収縮モルタル、ポリマーセメントモルタルなどが用いられている。

b. 設計

増桁の許容たわみは $L/2000$ とする。また、縦桁の不等沈下による付加曲げモーメントを考慮して設計を行わなければならない。

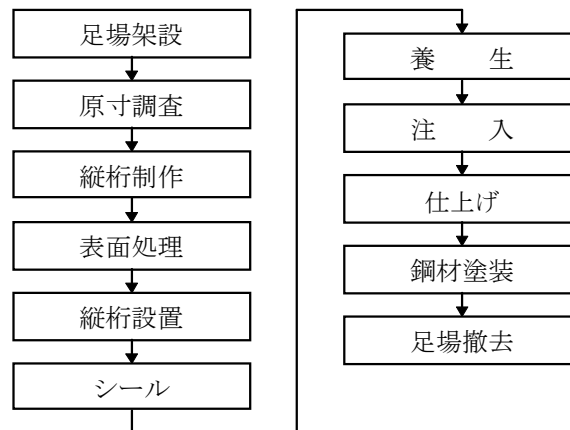
必要に応じて既設横桁の補強も行う。

●施工上の留意点

既設部材と増設部材の定着を確実にする。

間隙充填は空隙部を残さないように施工を行わなければならない。

392



（縦桁増設工法の場合）

図 はり（桁）増設工法の施工フロー

393

耐震壁増設工法

●概要と特長

耐震壁増設工法は、RCラーメン橋脚に定着用アンカーを取り付けて橋脚の間中空部に配筋後、RC壁で連結する工法である。耐震壁は水平力、せん断力の負担に大きく寄与し、特に橋脚面内の水平力を補い耐荷性の向上が期待されている。

●適用部材など

RCラーメン橋脚の曲げおよびせん断補強。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

鉄筋はSD295、コンクリートは $\sigma_{ck}=21$ もしくは 24N/mm^2 が多く用いられている。挿し筋アンカーにはエポキシ樹脂がよく用いられている。

b. 設計

面内の水平力に対しては、壁式にすることにより抵抗力が飛躍的に増大する。また、フーチングの曲げに対しても安全性が向上する。

通常は、耐震壁を格子として解析を行い、曲げおよびせん断補強量を設計する。

●施工上の留意点

柱と壁の一体性が重要であり、既設コンクリート面のチッピング、ずれ止め筋の配置等を行う。また、壁部コンクリート施工時に頂部に空隙が発生し易いので、グラウトなどにより完全に充填する。

394

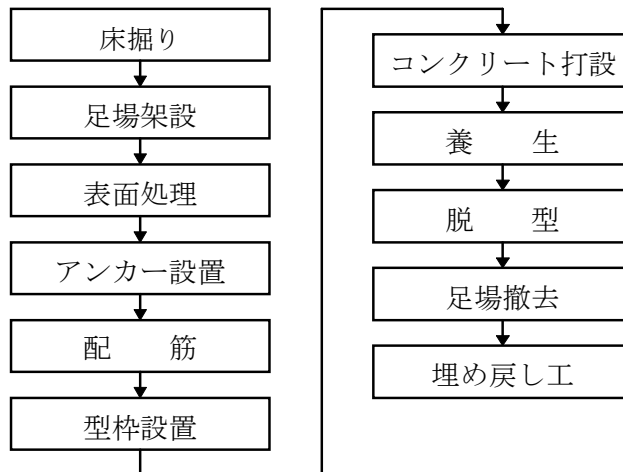


図 耐震壁増設工法の施工フロー

395

袖壁増設工法

●概要と特長

袖壁増設工法は、柱の側面に張り出し壁を設けて曲げもしくはせん断に対して抵抗させる工法である。通常は損傷を受けた柱に対して、損傷した方向に袖壁を設置し耐荷力の回復もしくは向上を図ることが期待できる。しかし、閉合した帯鉄筋の配筋が困難であり、じん性の向上を期待することは出来ない。

●適用部材など

段落とし部の曲げ補強。壁式橋脚のせん断補強。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

鉄筋はSD295、コンクリートは $\sigma_{ck}=210$ もしくは 240kgf/cm^2 が多く用いられている。挿し筋アンカーは樹脂系アンカーによる定着を行っている。

b. 設計

面内の水平力に対しては、壁式にすることにより抵抗力が増大する。また、フーチングの曲げに対しても安全性が向上する。

●施工上の留意点

柱と壁の一体性が重要であり、既設コンクリート面のチップング、ずれ止め筋の配置等を行う。

396

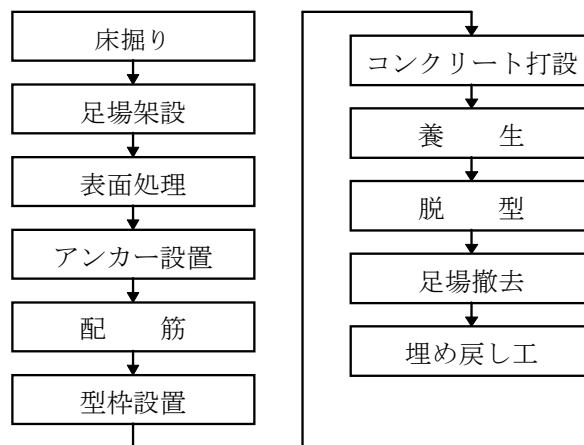


図 袖壁増設工法の施工フロー

397

杭・フーチング増設工法

●概要と特長

杭基礎の損傷もしくは残留変位がある場合に、杭およびフーチングを増設して基礎の耐力向上を図る工法。

●適用部材など

基礎フーチングおよび基礎杭。

●補強設計上の留意点

b. 設計

現況の死荷重は既設杭のみで負担させ、耐力および変形性能照査時には合成断面で検討を行うのが一般的である。

●施工上の留意点

旧フーチングと新設フーチングは、PC鋼材等で一体化を図ることが必要である。

398

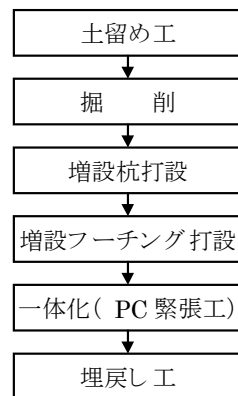
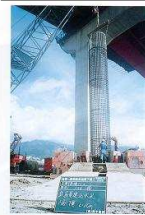


図 杭・フーチング増設工法の施工フロー

事例 増し杭+フーチング拡大+鋼板巻立て工法



出典：日本コンクリート工学会「コンクリート構造物の劣化および補修事例集」より

杭のひび割れ注入工法

●概要と特長

杭のひび割れ注入工法は、主に既設コンクリート杭に発生したひび割れに対し、超微粒子セメントミルク等を圧入してひび割れを閉塞し、杭内部への有害物質の侵入を遮断することにより、コンクリートや鉄筋の劣化腐食を防止する工法である。

●適用部材など

コンクリート杭に発生したひび割れを対象とした耐久性回復工法。

●補強設計上の留意点

a. 使用材料

注入材としては、低粘度エポキシ樹脂や超微粒子セメントが一般的である。

b. 設計

ひび割れ注入可能なひび割れ幅は0.05mm以上であり、ほとんどのひび割れに対処できる。

●施工上の留意点

ダブルパッカーによる二次注入は、クラック全体に注入できるように1m程度のピッチで行う。

400

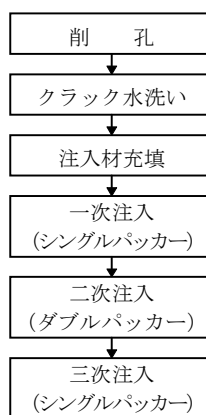


図 杭のひび割れ注入工法

401

8. 事例



1. 社会資本・維持管理について
2. 法令・安全衛生
- 3-1. 橋梁定期点検要領
- 3-2. 道路トンネル定期点検要領
4. コンクリートに関する基礎知識
5. 構造物の点検技術, 点検方法
6. トンネル
7. 補修・補強工法
8. 事例

402

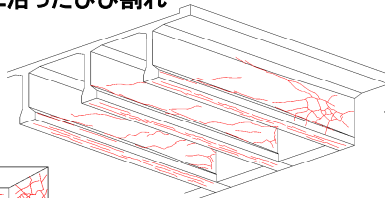
コンクリートの劣化事例



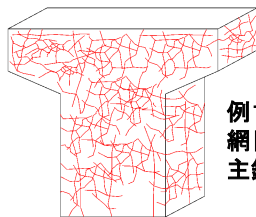
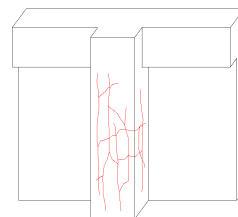
ASRによるひび割れの特徴

- i) コンクリート表面の網目状のひび割れ
- ii) 主鉄筋やPC鋼材の方向に沿ったひび割れ
- iii) 微細なひび割れ等における白色のゲル状物質の析出

例2) PC桁のASRひび割れ PC鋼材方向に沿ったひび割れ



例3) 柱のASRひび割れ 主鉄筋方向に沿ったひび割れ



例1) 橋脚のASRひび割れ 網目状のひび割れ 主鉄筋方向に沿ったひび割れ

403

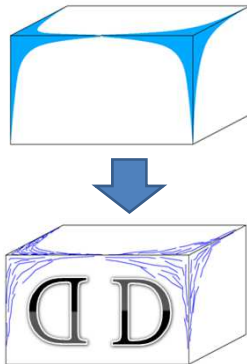
コンクリートの劣化事例



凍害による変状の特徴

- i) コンクリート表面の微細のひび割れ
- ii) D型に回り込むひび割れ、長手方向・斜めひび割れ
- iii) ポップアウト、スケーリング

例1) D型に回り込むひび割れ



例2) スケーリング・長手方向ひび割れ
長手方向を主とした微細ひび割れ
表層部のスケーリング



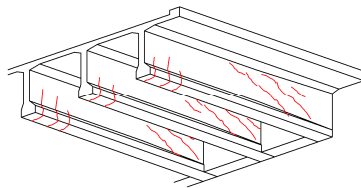
404

コンクリートの劣化事例

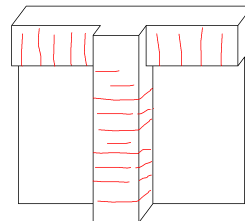


その他の特徴的なひび割れ

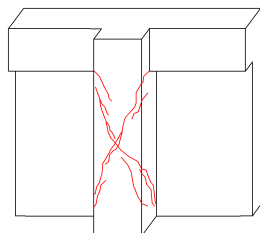
例1) 桁のせん断ひび割れ・曲げひび割れ



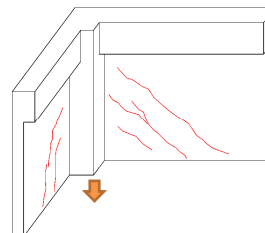
例2) 柱のかぶり不足ひび割れ



例2) 柱のせん断ひび割れ

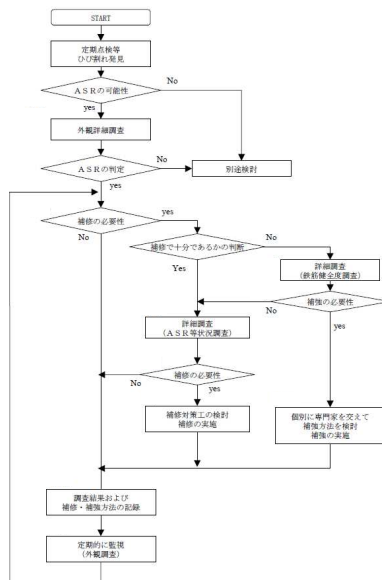


例2) 壁の沈下ひび割れ



405

事例1 : 橋梁下部工のASRの劣化調査



ASRによる変状を生じた橋梁に対する対応フロー

406

ASRの影響を受けている可能性があるかどうかの判定



ASRによるひび割れの特徴

- i) コンクリート表面の網目状のひび割れ
- ii) 主鉄筋やPC鋼材の方向に沿ったひび割れ
- iii) 微細なひび割れ等における白色のゲル状物質の析出

- (1) ASRによるひび割れには、他の劣化要因によるものとは異なる特徴があるので、構造物がASRによる影響を受けているかどうかの判定は、まず外観の調査結果から行う。
- (2) ASRによるひび割れの形状は、鉄筋量が少なく、周囲からそれほど拘束を受けない壁状の構造物(橋台や擁壁など)では、網目状となることが多い。一方、鉄筋量が多い部材やPC部材などでは、網目状の特徴を残しながらも、主鉄筋の方向またはPC鋼材の方向に沿った直線的なひび割れになることが多い。
- (3) ASRによるひび割れでは、内部から白色(乳白色、黄褐色の場合もある)のゲル状物質が滲み出していることが観察されることが多い。ただし、ASRによるひび割れでも、ゲル状物質が観察されとは限らないので注意する必要がある。

407

ASRの影響を受けている可能性があるかどうかの判定



- (4) 外観に生じている変状以外で、簡易に調査することができ、ASRの可能性を検討する際に参考にすることができるものとしては、
- ア) 構造物に関する過去の定期点検記録(特にひび割れ図)
 - イ) 周囲の構造物に対する定期点検結果

ア)について、ASRによるひび割れは竣工後2～3年以上が経過した後に発生し、5～6年以上後に目立つようになることが多い。竣工当初から発生しているひび割れについては、ASR以外の原因があると考えることが妥当である。

イ)について、地理的、時間的に近いときに竣工した周囲の構造物にASRによる変状が著しい場合には、判定する構造物についてもASRの影響を受けている可能性が高いと考えることができる。

- (5) 上記の方法で判断することが困難な場合には、専門家の意見を聞き、ASRの影響を受けている可能性があるかどうか検討すると良い。

408

ASRの影響を受けている可能性があるかどうかの判定



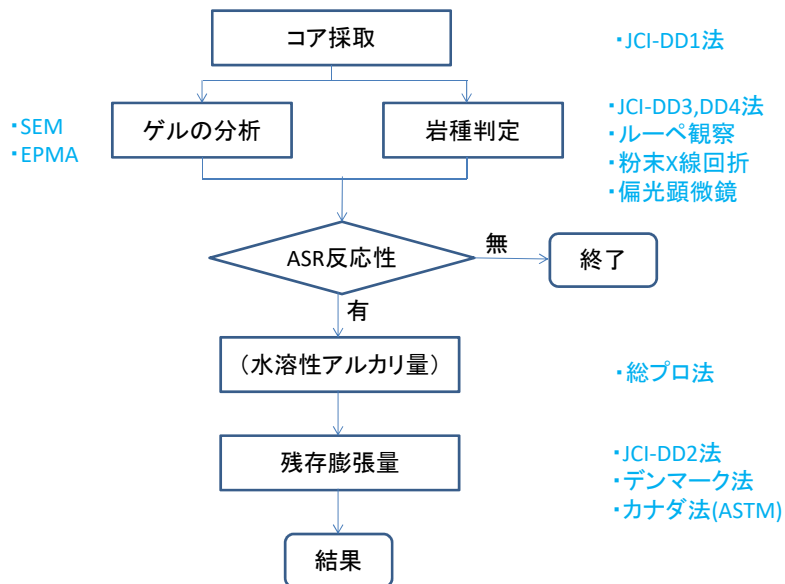
ASRの影響を受けているかどうかをより詳細に調査する方法としては、コアを採取し、

- ア) 骨材の破断面に反応リム(骨材の周縁および骨材内部のひび割れにみられる環状または帯状の変色域)が見られるかどうか確認する方法
- イ) 偏光顕微鏡等を用いて反応性骨材の有無を確認する方法
- ウ) 骨材の残存膨張量を調べる方法
- エ) 強度やヤング率の変化を調べる方法

試料を採取する場合の採取位置や箇所の決定にあたっては、構造や部位等について慎重に検討する。

409

アルカリシリカ反応試験方法



410

調査フロー



既存構造物(コア)

- ①現地調査 [外観調査(ひびわれ) 配筋調査 ・コア抜き 等]
- ②コア表面の肉眼観察 [骨材(岩種分類) 反応生成物]
- ③偏光顕微鏡観察 [鉱物組成 有害鉱物有無・定量]
- ④粉末X線回折 [全岩分析(鉱物組成) アルカリ処理試料]
- ⑤SEM観察 [生成物の形態分類 生成物の化学組成]
- ↓
- 長期予測
- ⑥残存膨張率の測定
- ⑦残存アルカリ量の測定
- ↓
- 対策工の提案

411

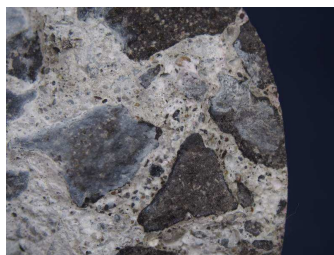
肉眼による岩種分類



肉眼観察は、コア表面（破断面および削孔面等）を肉眼またはルーペを用いて観察し、骨材の岩種の判定（ASR反応性の高い傾向の岩種があるかどうか）、コンクリートの組織、生成物の確認等を行う。

コア表面・破断面の観察において、ASRを特定する際に有効な情報となる「ASRに特徴的な現象」は以下のとおり。

- ①骨材自体または骨材を貫通してセメント硬化体に及ぶひび割れの存在
- ②骨材自体や周辺およびひび割れ周辺の白色生成物（ゲル）を生成して時間が経過していないものは、濡れて透明感がある
- ③粗骨材周辺の反応リム（粗骨材周囲のリング状の変色）



中央左の粗骨材は白色生成物によりほぼ完全に覆われている。また、その右側の粗骨材には顕著な反応リムが認められる。

コア破断面の状況

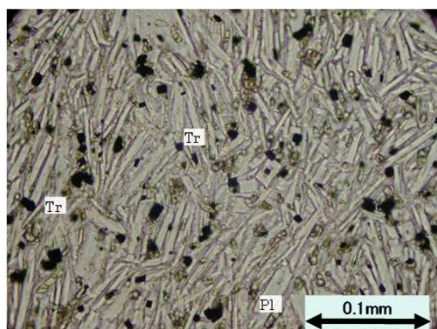
412

有害鉱物の判定：偏光顕微鏡観察



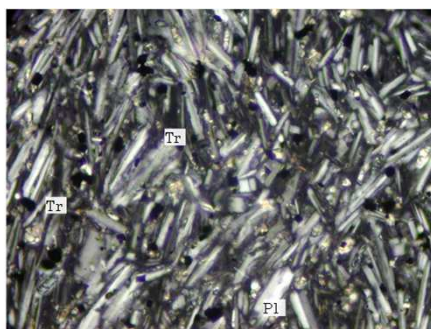
安山岩碎石の判定を実施した。反応性シリカ鉱物として、火山岩に特徴的な鉱物であるガラス・クリストバライト・トリディマイトがある。また、岩石粒子としてチャート中の微小石英にも注目する。

また、過去にASRの被害を受けた構造物の含有量と比較などを行う。



単ニコル

石基の細かい斜長石の間に微細なトリディマイトが多く存在する（含有率約15%）



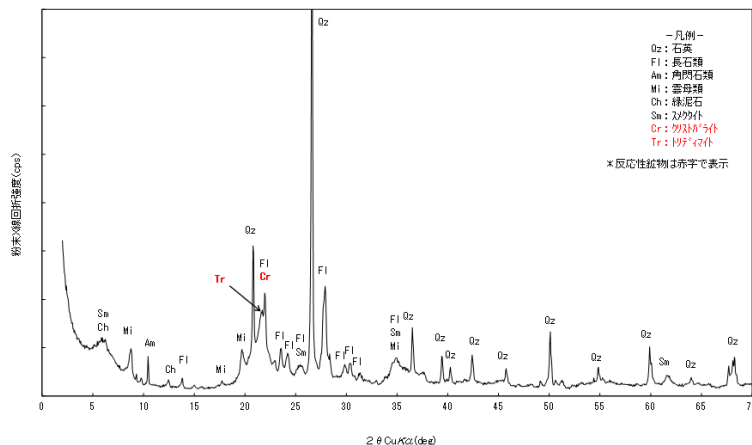
直交ニコル

413

有害鉱物の判定: 粉末X線回折



粉末X線回折は骨材を砕いて粉末にした試料にX線をあて、回折X線の回折角(2θ)および強度を測定し、鉱物(結晶)により回折角と回折強度が固有のパターンを示すことから、測定データを既知のデータと照らし合わせることで、鉱物の同定を行う。



粉末X線回折結果

414

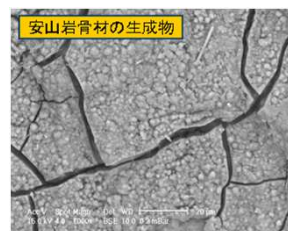
白色生成物のSEM・EDSによる形態観察と化学組成分析



ゲルが存在すると考えられる部位は、走査型電子顕微鏡 (SEM) により数百～千倍程度に拡大して形態を観察し、同時にEDS(エネルギー分散型X線分析装置)により組成分析を行い、形態と組成からASRゲルであるかどうかを判定する。



SEMにより観察されるアルカリ骨材反応生成物の形状例



成分	化学組成 (Wt%)
	安山岩
SiO ₂	61.41
Na ₂ O	3.00
K ₂ O	3.23
CaO	31.21

測定結果

415

残存膨張量試験

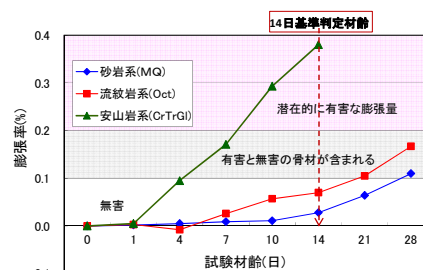


コンクリート構造物から採取したコアを促進養生して潜在的な膨張量を測定し、今後の劣化進行を予測する試験です。残存膨張量試験には、JCIのDD2法、デンマーク法、カナダ法(ASTM法)が用いられる。

- (1) JCI DD2法; 温度: $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 相対湿度: 95%以上の湿気箱保存(試験材齢 13週)
- (2) カナダ法(ASTM法); $80^\circ\text{C} \pm 2.0^\circ\text{C}$ 1N-NaOH溶液浸漬(試験材齢 14日)
- (3) デンマーク法; 50°C 飽和NaCl溶液に浸漬(試験材齢 13週)



残存膨張量測定状況



異なる岩種におけるカナダ法の結果

416

対策: 補修で十分であるかの判断



ASRによる変状が認められる場合でも鉄筋に損傷がない場合には、ASRが進行することを防ぐことを目的とした補修を実施する。

構造物中の鉄筋が破断しているおそれがある場合には、構造物の補強を行うことも視野に入れた検討を行う。

- ASRにより著しいひび割れが発生しているなど外見上かなりの変状が見られる場合でも、ひび割れの深さが鉄筋のかぶり程度までにとどまっていることが多く、内部の鉄筋が健全であれば、耐荷力の低下はほとんどないと考えられている。このため、ASRによる変状が認められた構造物に対する対策としては、**ASRの抑制および鉄筋の腐食防止を目的とした表面保護工・ひび割れ注入工等が一般的である。**

- 最近になって、ASRによるコンクリートの膨張が著しい構造物の一部では、内部の鉄筋が破断している事例もあってきた。このような構造物中の鉄筋の損傷が進展すれば、構造物の耐荷性能が損なわれる可能性もあるので、**早期に補強することも念頭に置いて詳細調査を行うものとする。**ただし、鉄筋破断には至っていないくても膨張が著しい場合、鉄筋の弾性限界に達している可能性があるため、注意する必要がある。

417

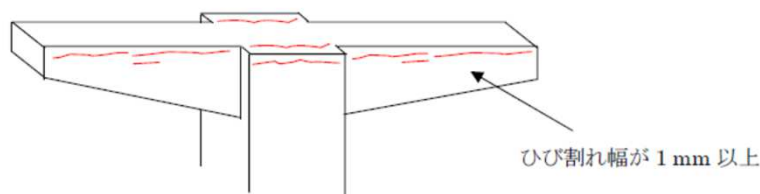
対策:補修で十分であるかの判断



以下のいずれかに該当する変状が見られる構造物は、内部の鉄筋が破断しているおそれもあるため、鉄筋の健全度に関する詳細調査を行う。

●過去にひび割れ注入工による補修を実施していない場合

- ①ひび割れ幅2mm以上の連続したひび割れがある。
- ②T型橋脚の部位において、図に示したような幅が1mm以上の連続したひび割れがある。
- ③ひび割れ箇所のコンクリート表面に2mm以上の段差がある。



橋梁下部構造(T型橋脚)における、ひび割れのパターン

418

詳細調査(ASR等状況調査)



ASRに対する補修の必要性、補修方法を検討する際の必要事項

- 1) 過去の調査記録の把握
- 2) 今後のコンクリート膨張量に関する調査(残存膨張量試験)
- 3) 変状が見られる箇所付近の雨水の流下状況に関する調査

- 1) 構造物の過去の定期点検結果や詳細調査結果、補修の記録などから、構造物の竣工後の経時的な変化を把握し、将来のASRの進行についてもおおまかに推定する。
例) 竣工後40年以上が経過しているような構造物では、今後、急激に変状の程度が変化するとは考えにくい。逆に、比較的新しい構造物では、今後もASRが進行することが十分考えられる。
- 2) 補修材料によって、適用できるひび割れ幅やひび割れの変動量が異なるので、今後もASRの進行によってひび割れ幅が変化する可能性が高いかどうかについて調査する。
残存膨張量試験を行うためのコアを採取・運搬する際には、コアの含水状態が変化しないように、湿布でつつむなどして乾燥しないようにする。
- 3) ASRの反応には水の存在が不可欠であり、実構造物では雨水が流下する経路など水分が豊富に供給される箇所で著しい変状が見られることが多い。
橋台、橋脚などその水分環境が上部構造の影響を受ける部位では、雨水の流下状況などを調査し、変状箇所への水分の供給を防ぐための対策を検討する。

419

補修対策工の検討



構造物の種類や重要性、周辺環境、損傷の程度、これまでの記録、詳細調査で得られた各種試験の結果、補修の有効性等を総合的に勘案して、補修を行うかどうか判断し、補修工法を選定するものとする。

補修後にもASRが進行する可能性があるので、補修後もASRの進行を容易に監視できるような対策を講じることが望ましい。

・ ASRは、コンクリート中のアルカリ分、骨材に含まれる反応性珪物、および水の三者がそろうことで反応が進行する。

①コンクリートへの水分の供給を絶ってASRの反応を抑制することを目的とした**表面保護工**

②鉄筋近傍への水や塩化物イオンなどの劣化因子の侵入を防止しすることを目的とした**ひび割れ注入工**

なお、これらの対策とは別に変状箇所への水分供給を極力防ぐことが必要

420

補修対策工の検討



・ 代表的な表面保護工としては、以下のものがある。

① **撥水系表面保護工**:外部からの水の侵入を防ぐ。また、内部からの水分の蒸発は妨げない。

② **遮水系表面保護工**:外部からの水の侵入を防ぐ。一方、内部からの水分の蒸発も妨げられる。

既往の適用例からは、撥水系表面保護工の効果が高いと考えられているので、未補修の構造物に新たに補修を行う場合は、撥水系表面保護工を採用すると良い。

既補修の構造物に再度補修を行う場合には、現在補修されているものと同じ系統(撥水系、遮水系)の表面保護工を再度、上塗りする。

・ ASRによるひび割れが大きく開口していると、そこから水や塩化物イオンなどの劣化因子が、鉄筋の近傍まで容易に侵入するおそれがある。したがって、**開口したひび割れ部にはひび割れ注入工**を行って補修するのが一般的である。

421

補修対策工の検討



・ ASRの反応には水分の供給が不可欠であり、特に橋台・橋脚などの橋梁下部構造物などでは、上部構造から流下する雨水の通りみちなどで、著しい変状が見られることが多い。このような場合には、次のような対策で変状が見られる箇所への**水分の供給を防ぐ**ことも重要である。

① ジョイント部の漏水対策工

- ・非排水型伸縮装置の採用
- ・ジョイント部周辺への防水シートの採用
- ・排水桝、配水管の補修・更新

② その他、上部構造からの漏水防止

・ 補修を行った構造物でも、ASRがさらに進行する可能性があるので、これを容易に監視できるような補修方法を選定することが望ましい。また、例えばコンタクトゲージを取り付けるなどして、ひび割れ幅の変動が監視できるような工夫をするのがよい。

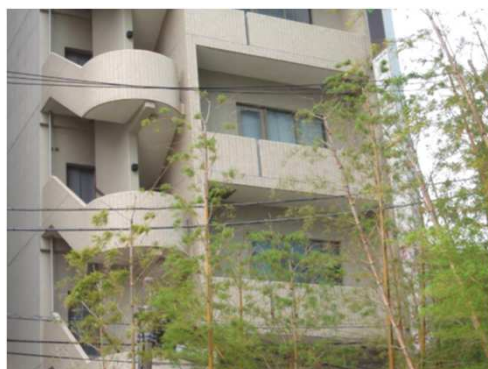
422

事例2 : マンション外壁タイルの剥離原因調査例



・外壁がモザイクタイルにより施工されていたマンションが、竣工後、比較的早期の数経過年時点でタイルに浮きが発見され、一部で剥離・落下が認められた。

⇒タイルの剥離原因調査・対策の検討



外壁がタイル張りのマンションの例

423

劣化状況



打音調査にて剥離タイル
にマーキングした状況



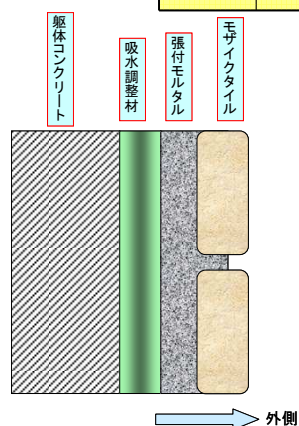
補修跡
(目地材が白っぽい部分)

424

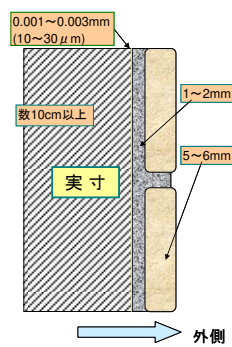
タイルの剥離について



躯体(下地)コン クリート	構造体	セメント・細骨材 粗骨材・鉄筋
吸水調整材	タイル・モルタル貼り付け 時の乾燥防止	エチレンー酢酸ビニル 系共重合体
張付モルタル	タイルとコンクリートを接着	セメント・砂(混和材)
モザイクタイル	外壁	粘土などを用いた焼 成物(磁器)



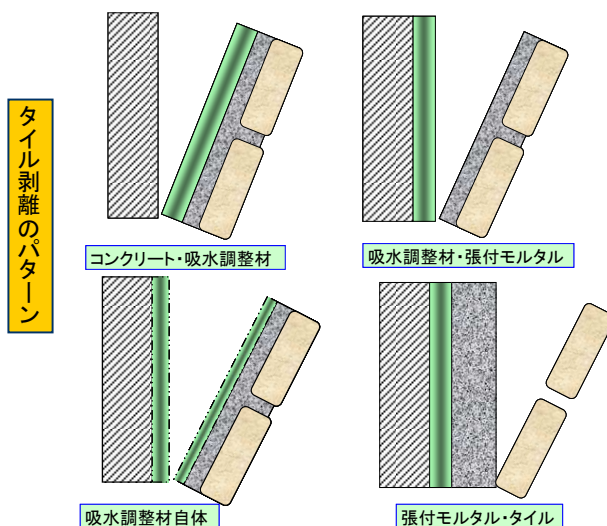
模式図



縮尺図

425

タイルの剥離について



426

試験概要(試験項目・目的・数量など)



	調査・試験項目	目的・内容	数量等
1	塩酸溶液噴霧法による吸水調整材の確認	コンクリートと張付モルタル。コンクリートは試料採取時に現地で実施。この他にタイル業協会ではガスバーナーによる加熱試験を実施	浮き部3カ所以上
2	走査型電子顕微鏡(SEM)による吸水調整材の膜厚の測定	吸水調整材の接着状況、膜厚の測定により、材料・施工の良否を確認	健全部と浮き部の比較・各々3箇所以上過去の補修箇所
3	偏光顕微鏡観察、粉末X線回折分析	張付モルタル中の膨張性鉱物等の有害鉱物の含有の有無	健全部と浮き部の比較・各々1箇所以上過去の補修箇所
4	線膨張係数の測定	使用されているタイルの熱による膨張が一般的な値かどうかを確認する	施工時に保存されているタイルを使用
5	引張り試験	過去に補修した箇所の付着状況を調べる	過去の補修箇所数箇所

427

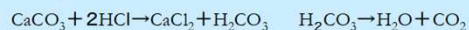
検査テクニック



塩酸溶液噴霧について(解説)

塩酸とセメント中の炭酸カルシウムの反応

コンクリートやモルタルはセメント由来のカルシウム(Ca)を多く含み、これが空気中の二酸化炭素(炭酸ガス)とを吸収し、炭酸カルシウム(CaCO_3)を生成します。これが、塩酸(HCl)と接すると、



の反応により、炭酸ガスが生成され発泡します。

コンクリート表面に塩酸を滴下すると、何もなければ炭酸ガスが発生し発泡しますが、吸水調整材のような皮膜があると、発泡せず、水玉状になるか、僅かに発泡する程度(水性で若干の穴があり、僅かな反応はある)であり、皮膜の有無が確認できる。



428

現地調査における吸水調整材の確認



現地調査におけるコンクリート側の吸水調整材の確認



スポイトで10%濃度の塩酸をコンクリート表面に滴下しているところ。左上に既に滴下した部分があり、ほとんど発泡していない



写真右上に僅かな発泡が認められる。



上の写真はバーナーで、コンクリート表面を焼いている状況。下の写真は、焼いた跡であり、吸水調整材(有機物)が茶褐色に焼けこげている。

429

室内試験におけるコンクリート側の吸水調整材の確認



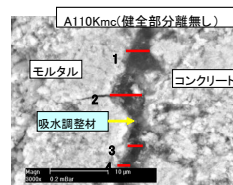
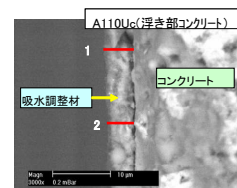
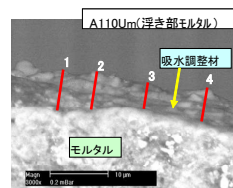
タイル浮き部のコンクリート表面の状況。
水の浸透はほとんどなく、塩酸の場合も僅かに炭酸ガスが出ている程度であり、吸水調整材が塗布されていることが確認できる

430

SEM(走査型電子顕微鏡)による吸水調整材



箇所	種別	張付モルタル部			躯体コンクリート			全体(厚さμm)		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
A110	浮き部	7.0	2.7	6.7	11.9	2.4	4.3	19.9	6.1	12.0
	健全部	10.0	2.5	6.2	14.3	2.0	5.6	25.3	5.5	12.8
A210	浮き部	20.0	3.4	5.1	7.3	3.6	11.1	26.3	8.0	17.2
	健全部	-	-	-	-	-	-	6.9	1.6	4.5
B310	浮き部	36.9	3.2	7.6	15.3	3.1	10.6	51.2	7.3	19.4
	健全部	20.5	3.5	12.4	20.7	307.0	8.5	40.2	6.2	21.9
A120	既補修	-	-	-	-	-	-	16.1	9.3	13.5



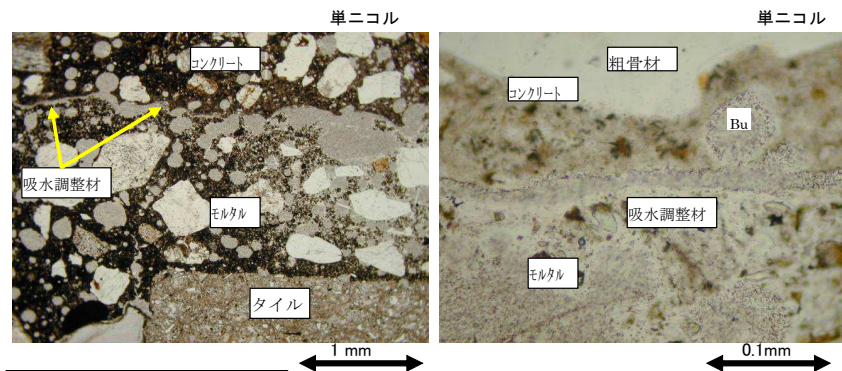
試料	No.	厚さμm
A110Um	1	6.5
	2	6.6
	3	4.9
	4	6.1
A110Uc	1	5.1
	2	4.6
A110Kmc	1	3.8
	2	6.4
	3	2.2
	4	1.8

- ・吸水調整材は全てコンクリート・モルタルに付着しており、吸水調整材の内部で剥離(破断)している
- ・全体の平均値:14.0 浮き部平均:14.5 健全部平均:12.5
- ・一般的な施工厚さは10~20μmであり、その範囲内に入っている
- ・浮き部・健全部、コンクリート・モルタルで厚さの違う傾向はない

431

偏光顕微鏡観察の例

(モルタル・コンクリートに有害な鉱物が混入しているかどうかを調べる)

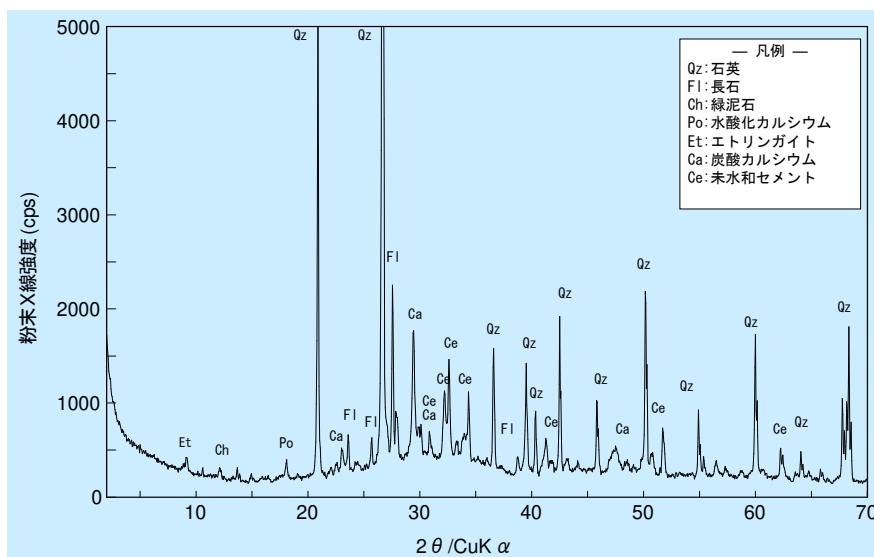


凡 例	
Qz: 石英	Pl: 斜長石
Kf: アルカリ長石	CP: 単斜輝石
Ch: 緑泥石	Mi: 雲母
Ca: 炭酸カルシウム (方解石)	
Ce: セメント鉱物	Bu: 空隙・気泡
CH: チャート岩片	

A110の健全部の分離していない試料である。タイル・モルタル・吸水調整材・コンクリートが全て視野に入る。吸水調整材が横方向に連続して認められる

432

浮き部・張付モルタルの粉末X線回折の例(有害鉱物の混入の有無)



433

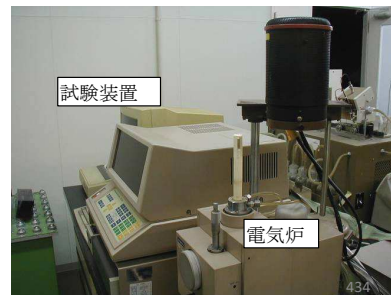
熱膨張係数(線膨張係数)測定結果



20℃～200℃で10℃毎にタイルの膨張を測定
測定値は $5 \sim 6 (\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$
タイルの一般的な係数 $5 \sim 8 (\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$
コンクリート・モルタル: $7 \sim 10 (\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$



試料	二丁モザイクタイル	角モザイクタイル
試料寸法	20.09mm	20.51mm
温度	熱膨張係数(線膨張係数)($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	
20	—	—
30	5.11	4.87
50	5.07	5.03
100	5.43	5.41
150	5.79	5.84
200	6.11	6.21



結論



- ・吸水調整材とコンクリートおよびモルタルは付着している。
- ・膜厚は $10 \sim 15 \mu\text{m}$ であり、一般的な厚さ($10 \sim 20 \mu\text{m}$)と同じである。膜厚が厚いこと(施工不良)による剥離ではない。
- ・剥離は吸水調整材自体の破断(剥離)であると判断される。
- ・吸水調整材の初生的な材質の欠陥ないしは塗布後の物理・化学的な環境変化による劣化に起因するものと推定される。

事例3: 調査結果の評価と報告書の作成



- ・電磁波レーダー法
- ・ドリル法による中性化試験
- ・反発度法による圧縮強度推定

436

電磁波レーダー法 [報告書の作成]



● 報告書の作成

- ・ 探査結果記録、採取探査波形、かぶり厚さの推定結果などの記録を基に報告書を作成
- ・ 報告の内容には必ず報告する事項と、探査の参考となるような必要に応じて報告する事項
- ・ 報告の様式は任意であるが、必要に応じて項目の追加や様式変更を行い、理解しやすい報告様式とする

437

電磁波レーダ法 [報告書の作成]



報告書記載内容の例

1. 測定目的

〇〇工事において、〇〇の施工に伴い非破壊手法（電磁波レーダ法）により事前に構造物中の鉄筋位置を把握する。

2. 工事及び測定概要

工事名称	〇〇工事
構造物名称	〇〇〇〇橋
測定年月日	平成〇年〇月〇日
測定場所	〇〇県〇〇市〇〇地内
測定技術者	会社名 所属 氏名

3. 測定対象

測定対象箇所数、測定位置図など

4. 使用機器

4.1 機器仕様

調査に使用した主な機器（名称・型式・製造元・仕様など）

機器の校正証明書もしくは点検記録を添付

4.2 電磁波レーダ法による鉄筋探索原理

探索原理の簡単な解説

5. 測定方法

探索結果検証のための事項など

一般的な探索方法と異なる場合には記載内容が適切か注意が必要

6. 測定結果

鉄筋探索結果図（配筋図）、比誘電率推定結果、かぶり厚さ推定結果 など

付属資料

- ・状況写真（探索状況、探索後の鉄筋位置マーキング状況）
- ・校正証明書
- ・資格証明書

438

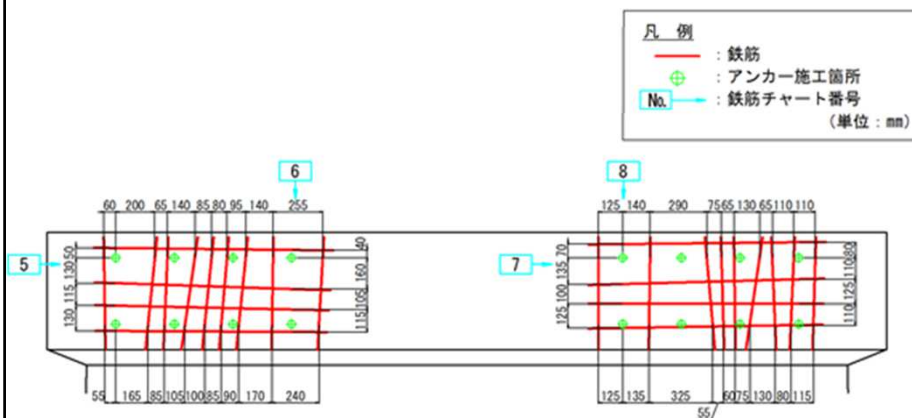
電磁波レーダ法 [報告書の作成]



鉄筋探索結果図（配筋図）例

鉄筋探索結果は基準（下図の場合はアンカー施工予定位置）からの寸法を明確に記載する。

また、探索波形を採取した走査線と方向、番号を明記する。



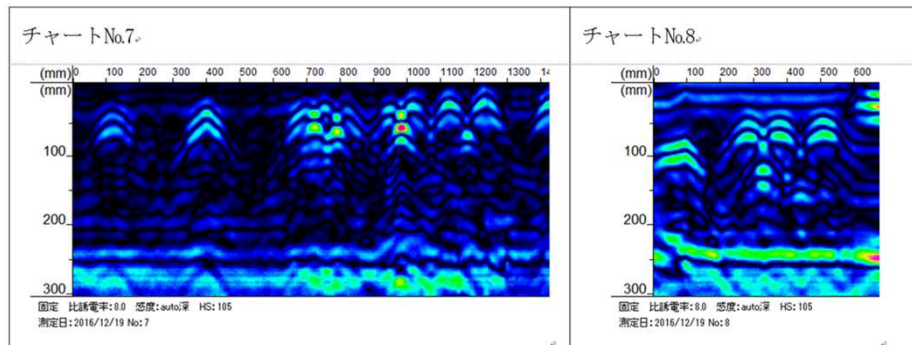
439

電磁波レーダ法 [報告書の作成]



探査波形 (チャート) 例

必要があれば鉄筋読取り位置を記載する (かぶり厚さ測定結果例参照)。



440

電磁波レーダ法 [報告書の作成]



状況写真 例

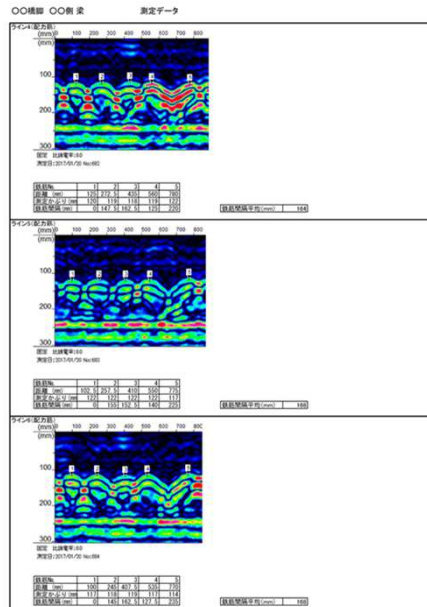


441

電磁波レーダ法 [報告書の作成]



かぶり厚さ推定結果 例



442

ドリル法による中性化試験 [報告書の作成]



● 報告書の作成

報告の様式は任意であるが、必要に応じて項目の追加や様式変更を行い理解しやすい報告様式とする。

- ・構造物の名称及び所在地
- ・構造物の概要
- ・試験日時及び天候
- ・試験技術者名
- ・試験箇所及び範囲
- ・試験結果(それぞれの測定値及び平均値)
- ・その他の必要事項

例: 削孔時に異音が発生した場合、削孔粉の色に変化があった場合、その深さなど

中性化試験は既設構造物の劣化程度を把握する目的で実施され、外観目視や打音調査などの基本調査やその他の詳細調査と併用して行われることが多い。そのため、構造物の概要や晒されている環境、試験箇所周辺の劣化状況、鉄筋のかぶり厚さなどの情報と合わせ、総合的な判断が求められる。

443

ドリル法による中性化試験 [報告書の作成]



[報告書記載例](#)

中性化試験結果表

試験箇所	〇〇〇				部材/試験面	梁 / 側面	
仕上りの種類	モルタル				仕上り厚さ	15 (mm)	
試験孔	中性化深さ (mm)						
	測定点	測定点	測定点	測定点	最大値	平均値	全体平均値
	1	2	3	4			
①	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.4	1.6
②	3.0	3.5	1.5	1.5	1.5	2.4	
③	0.5	0.5	1.5	2.0	0.5	1.1	
備考 - 各試験孔に4箇所を測定した。 - 平均中性化深さは、四捨五入により小数点以下1桁とした。							
試験孔① 測定点1 (0°) 測定点4 (270°) 測定点2 (90°) 測定点3 (180°) コメント		試験孔② 測定点1 (0°) 測定点4 (270°) 測定点2 (90°) 測定点3 (180°) コメント		試験孔③ 測定点1 (0°) 測定点4 (270°) 測定点2 (90°) 測定点3 (180°) コメント			

444

反発度法による圧縮強度推定 [報告書の作成]



● 報告書の作成

報告の様式は任意であるが、必要に応じて項目の追加や様式変更を行い理解しやすい報告様式とする。

- ・構造物の名称及び所在地
- ・試験日時及び天候
- ・試験技術者名
- ・試験部材名および部位(位置、屋内外の区別)
- ・試験機器(リバウンドハンマーの種類【機種、製造日、製造業者名、製造番号】)
- ・試験条件(測定面の状態、打撃の方向、補正に関わる情報)
- ・試験結果 反発度(R)(反発度の計算に採用した値及び採用しなかった測定値)
推定圧縮強度(採用規格 推定式・補正一覧 等)
- ・その他の必要事項(点検結果、校正証明書など)

445

反発度法による圧縮強度推定[報告書の作成]



反発度法による推定結果記載例

● 圧縮強度推定結果表の作成

あらかじめExcelファイルで算出シートを作成しておくが良い。

- 棄却処理
- 補正入力
- 推定式

測定点	測定箇所		
	①	②	③
1	34	31	23
2	32	33	23
3	27	34	20
4	34	29	23
5	33	32	24
6	32	30	23
7	30	34	24
8	32	29	24
9	38	29	21
10	36	30	25
11	33	30	24
12	35	28	22
13	35	31	23
14	27	33	23
15	35	27	27
16	29	31	19
17	32	29	22
18	29	31	23
19	37	32	27
20	30	28	25
反発度 平均値R	32.500	30.550	23.250
標準偏差σ	3.120	2.012	1.970
打撃角度α	0.0	0.0	0.0
打撃角度補正値ΔR ₁	0.000	0.000	0.000
選測補正値ΔR ₂	5.0	5.0	5.0
補正値ΔR=ΔR ₁ +ΔR ₂	5.000	5.000	5.000
補正後反発度R ₀ =R+ΔR	37.500	35.550	28.250
材齢低減係数α	1.000	1.000	1.000
推定圧縮強度 [f _{cd} (N/mm ²) (28.0+1.2700) (N/mm ²)]	29.625	27.149	17.878

*推定圧縮強度は日本材料学会式により算出した値である。

446

事例4: 中性化深さの予測 計算例



コンクリートの中性化深さは以下の式で予測できる

$$X = A\sqrt{t}$$

X 〃 中性化深さ(mm)
A 〃 中性化速度係数
t 〃 経過時間(年)

ここで、中性化速度係数Aは以下で表すことができる

$$A = K_w \cdot K_c \cdot K_{wc} \cdot K_T \cdot K_f$$

K_w 〃 コンクリートの質量含水比による係数
K_c 〃 CO₂濃度による係数
K_{wc} 〃 水セメント比による係数
K_T 〃 温度による係数
K_f 〃 外断熱工法、仕上げ材による中性化抑制係数

447

事例4: 中性化深さの予測 計算例



Q 竣工後25年が経過したコンクリート構造物において、屋外側壁面のコンクリートの中性化深さを調査したところ10mmであった。

今後とも環境が変わらないとした場合、屋内側壁面の中性化深さが30mmになると予測される時期はあと何年後か。

ただし、炭酸ガス濃度は屋外で0.05%、屋内で0.1%一定として仮定し、炭酸ガス濃度が中性化速度に及ぼす影響は、炭酸ガス濃度の平方根に比例するものとする。

A 中性化深さ C と経過年数 t との関係は、 $C=A \times \sqrt{t}$ と表わされる。(Aは定数)

建設後25年経過した屋外側壁面の中性化深さが10mmであるので

$10=A \times \sqrt{t}=A \times 5$, $A=2$ となる。

一方、屋内側は、炭酸ガス濃度が屋外の2倍(0.1%÷0.05%)であり、炭酸ガス濃度が中性化速度に及ぼす影響は、炭酸ガス濃度の平方根に比例するので、屋内側壁面の中性化深さが30mmとなる

ときの建設後の経過年数は

$$30 = 2 \times \sqrt{2} \times \sqrt{t} = 2 \times 1.41 \times \sqrt{t}$$

$$\sqrt{t} = 10.6$$

$$t = 112.4 \text{ 年 となる。}$$

したがって屋内側壁面の中性化深さが30mmになると予測される時期は、建設後112.4年となり、あと87.4年(112.4 - 25=87.4年)となる。

448



一般社団法人 国際建造物保全技術協会

E-mail : info@isma.or.jp

URL : <http://www.isma.or.jp/>

改訂：2021年度版（2021年8月1日版）

※テキスト、画像等の無断転載・無断使用を固く禁じます。

449