

2021年度【技術の要点】

【安全・衛生に関する知識】

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、各職場に徹底する手法が基本であった。しかし、労働災害が発生していない職場でも潜在的な危険性や有害性は存在しており、これらが放置されると、いつかは労働災害が発生する可能性がある。そのため、これからの労働災害防止対策は、職場の潜在的な危険性や有害性を見付けだし、事前に的確な対策を講ずることが不可欠であり、これに答えたのが職場のリスクアセスメントである。厚生労働省「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」（平成18年3月10日公示）によると、リスクアセスメントの実施手順は、①危険源の特定、②リスクの見積り、③リスクの評価、④リスクの低減となる。

【社会資本一般】

国土交通省所管分野における社会資本の将来の維持管理・更新費の推計（平成30年11月30日）によると、『今後30年後（2048年度）までの維持管理・更新費の推計を行ったところ、事後保全から予防保全へ切り替えることによる費用の縮減効果が大きいことが分かり、今後は予防保全の考え方を基本としたインフラのメンテナンスを国、地方公共団体などが一丸となって着実に進める。』としている。

【道路の維持修繕に関する省令・告示】

2014年3月に国土交通省が公布した「道路の維持修繕に関する省令・告示」に示された点検・診断に関しては、下記が基本となる。

- ・ 診断結果は、「Ⅰ健全」、「Ⅱ 予防保全段階」、「Ⅲ 早期措置段階」、「Ⅳ 緊急措置段階」の4つの区分に分類する。
- ・ 点検は、5年に1回の頻度で近接目視により行う。
- ・ 統一的な尺度で健全性の診断結果を分類する。
- ・ 点検、診断の結果は、記録して保存する。

【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）の摘要の範囲は、『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。』である。

本要領は、国土交通省、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。なお、本要領は、定期点検に関して標準的な内容や現時点の知見で予見できる注意事項等について規定したものである。一方、橋梁の状況は、橋梁の構造形式、交通量、供用年数及び周辺環境等によって千差万別である。このため、実際の点検にあたっては、本要領に基づき、個々の橋梁の状況

に応じて定期点検の目的が達成されるよう、十分な検討を行う必要がある。

また、橋梁に係る各種点検やその記録等の一元管理については、「橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領（案）」（平成16年3月）（以下「カルテ作成要領」という。）に定められているので、それによること。

【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）において定期点検を実施する場合の安全対策は以下の通りである。

- ・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。
- ・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事から、「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。

【JSCE 表面保護工法 設計施工指針(案)】

- ・表面被覆工法と表面含浸工法は、断面修復工法も含め、表面保護工法として分類される。
- ・無機系被覆材では、被覆を形成させるために用いる材料のうち、主にポリマーセメントモルタルにより構成される。
- ・表面含浸工法は、劣化因子の遮断を完璧に行うことは困難であると考えられるため、劣化速度の抑制（劣化因子の侵入抑制）が効果として期待される。
- ・コンクリート構造物の劣化状況の詳細調査を実施したうえで、適切な下地処理工、素地調整工および表面保護工の選択を行う。

【山岳トンネルの建設工法】

- ・NATM工法が日本に初めて導入されたのは1976年（上越新幹線の中山トンネル）で、現在の山岳トンネルの標準工法に位置付けられている。
- ・矢板工法では、坑口部等で覆工に土圧等の荷重が作用する可能性がある場合は、鉄筋コンクリート構造にすることがあるが、坑口部以外の一般区間では無筋コンクリート構造とすることが通例である。
- ・山岳トンネルの覆工は、一般に無筋コンクリート構造である。
- ・底設導坑先進上部半断面工法によって施工されたトンネルの覆工は、逆巻きである。順巻きとなるのは、側壁導坑先進上部半断面工法の場合である。

【コンクリートコアの圧縮強度計算】

JIS A 1107 : 2020「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」に従ってコンクリート構造物より採取したコアを用いて、コンクリートの圧縮強度を測定した。

コアの平均直径が 100mm、コアの平均高さが 130mm、試験最大荷重が 300kNであったとき、圧縮強度を計算しなさい。

供試体寸法による補正係数一覧表

高さ と 直径 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

【解答】 35.8 N/mm²

【解説】

H=130mm、d =100mmより $h/d = 130/100 = 1.21$

補正前に得られる計算値は、 $f_c = (300 \times 1,000) / (50 \times 50 \times \pi) = 38.2 \text{ N/mm}^2$

補正係数を問題の表から補間法で求める。

採取したコアの補正係数を α とすると、 $(\alpha - 0.93) / (0.96 - 0.93) = (1.30 - 1.25) / (1.50 - 1.25)$

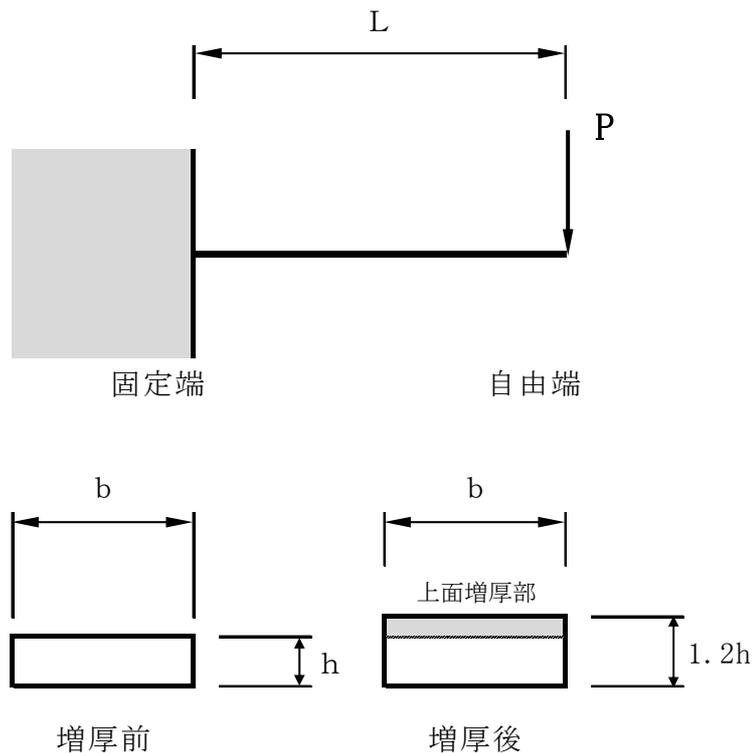
となり、 $\alpha = 0.936$ となる。

よってコンクリート圧縮強度は、 $38.2 \times 0.936 = 35.8 \text{ N/mm}^2$ となる。

【片持ち梁の計算】

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1.2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はどのようになるか。

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。



断面図

【解答】 増厚前の58%

【解説】

- ・片持ち鉄筋コンクリート床版を片持ち梁として考える。
- ・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。

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

δ : たわみ量、E : ヤング係数、I : 断面2次モーメント

- ・増厚の前後でヤング係数は同じなので、断面2次モーメントが増加する
- ・増厚前の断面2次モーメント I は $I = b \times h^3 / 12$
- ・増厚後の断面2次モーメント I' は $I' = b \times (1.2h)^3 / 12$

- 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 $\delta' = \delta / (1.2)^3 = 0.578$
- よって、増厚後のたわみ量は増厚前のたわみ量の 58% となる

【凍害】

- ・気温の降下に伴って、コンクリート中では径の大きい細孔中の水分から凍結を始める。
- ・同一空気量のコンクリートの耐凍害性は、気泡径の分布により、気泡間隔係数が小さいほど、凍結融解抵抗性が増す。打込み時など施工途中にコンクリート中に巻き込まれるエントラップドエアではなく、AE剤等を用いて入れる径が小さなエントレインドエアが重視される。
- ・積雪寒冷地に立地するコンクリート構造物において、常に雪に覆われている部分等の常時凍結している場合は、凍結融解を繰り返す南面などの雪が溶けやすい部分よりも、スケーリングが発生しにくいので凍害は抑制される。
- ・海岸際に立地するコンクリート構造物において、海水の飛沫を受ける部分（海岸部の飛沫帯のコンクリート）は、塩害との複合劣化で凍害を受けやすい。

【ASR】

- ・フライアッシュや高炉スラグなどを含む混合セメントはアルカリシリカ反応抑制効果がある。
- ・アルカリシリカ反応による膨張が最も大きくなる時の、骨材中に含まれている反応性骨材の割合をペシマム量という。ペシマム量はセメント中のアルカリ量、骨材の種類や粒度などによって変化する。したがって、コンクリート中に含まれる反応性骨材の量が多いほど、アルカリシリカ反応による膨張大きくなるわけではない。
- ・内部の水分が乾燥しにくいマッシブな構造物はアルカリシリカ反応による損傷が生じやすい。
- ・骨材のアルカリ反応性試験方法として主に化学法とモルタルバー法が用いられる。

【鉄筋コンクリート構造】

鉄筋コンクリート構造には以下の様な特性がある。

- ・コンクリートは引張強度が小さいが、一般にコンクリートの引張抵抗を無視し、主な引張力は鉄筋で受け持たせる。
- ・圧縮力は、主にコンクリートが負担するが、一部圧縮鉄筋の負担し、圧縮鉄筋の量が多いほどコンクリートの負担が軽くなり、靱性が向上する。
- ・主筋、せん断補強筋でコンクリートを包み、拘束することにより耐力と靱性が向上する。
- ・コンクリートは強アルカリ性で、かぶりを確保することにより、塩分や有害物質が鉄筋位置まで達することを防ぐほか、耐火性にも寄与している。

【道路橋コンクリート床版の疲労】

道路橋コンクリート床版における各劣化段階での疲労損傷状況は次の順序となる。

①潜伏期

輪荷重の作用とコンクリートの乾燥収縮ひずみが相まって、床版下面に橋軸直角方向の曲げひび割れが発生する。

②進展期

主鉄筋（橋軸直角方向）の応力が増加し、橋軸方向へのひび割れが発生、結果として、二方向ひび割れへと進展する。

③加速期

格子状のひび割れの毛細化及び貫通が進む。

④劣化期

貫通ひび割れのコンクリート接触面のすり磨き作用により、床版全体が梁状化し、押し抜きせん断耐力が低下、抜け落ちなどの損傷として顕在化する。

【鋼材腐食】

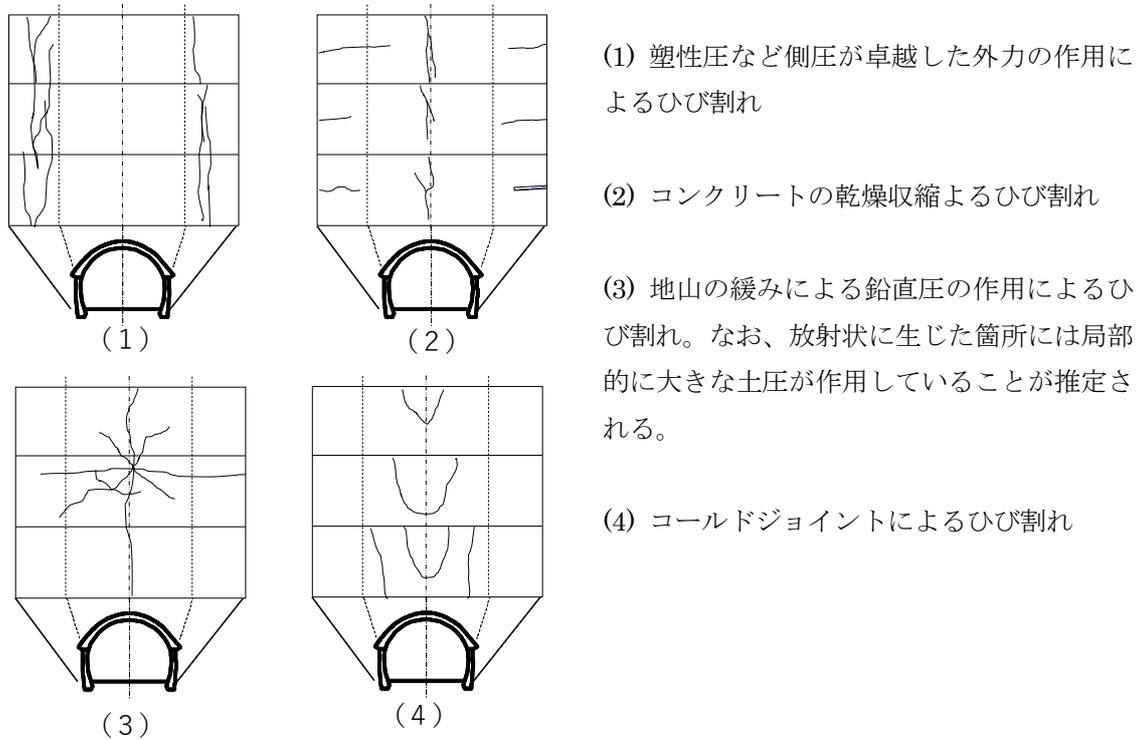
- ・通常、コンクリートはアルカリ性（pH12～13程度）に保たれており、鋼材の不動態被膜が健全であればコンクリート内部の鋼材は腐食しない。
- ・中性化した鉄筋コンクリートの錆汁の色は、主に黒色や褐色を呈する。
- ・鉄筋のマクロセル腐食は、アノードとカソード領域が、ある大きさをもって、明確に分離する腐食の形態である。
- ・アノード反応とは、鉄筋の酸化反応のことをさす。鉄筋は一般にコンクリート中の強いアルカリ性環境下で表面に厚さ20～60Åの酸化皮膜(不動態皮膜)を形成しており腐食作用から保護されている。しかし、アルカリ成分の溶出や炭酸化によってコンクリートのアルカリ度が低下したり、コンクリート中に塩化物イオンなどの有害成分が混入したりすると、鉄は活性態となり腐食しやすくなる。活性態にある鉄は水と溶存酸素の作用によって腐食を引き起こす。このとき、鉄表面では鉄がイオン化するアノード反応（酸化反応）と酸素が還元するカソード反応（還元反応）とが、それぞれ進行し、腐食電池が形成される。

【コンクリートの各種劣化機構】

- ・中性化は、大気中の二酸化炭素などにより、コンクリートのアルカリ性が低下する現象で、鉄筋腐食による膨張圧でひび割れが入り劣化するが、コンクリート材料そのものの劣化ではない。
- ・塩害は、コンクリート中の塩化物イオンが、鋼材の不動態皮膜を破壊し、腐食を促進する現象である。
- ・アルカリシリカ反応は、コンクリートに含まれる反応性骨材（安山岩、チャートなど）のシリカ粒子が化学反応によりアルカリシリカゲルを生成し、このゲルが吸水膨張することでひび割れが発生する現象である。
- ・凍害は、長年にわたる凍結と融解の繰り返しにより、コンクリートが徐々に劣化する現象である。

【山岳トンネルの覆工コンクリートに生じたひび割れ】

下記の図は、山岳トンネルの覆工コンクリートに生じたひび割れ展開図を示したものである。



【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】

- ・フェノールフタレインは赤色部と無色部の境界の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。
- ・中性化深さが深い場合は、粉がろ紙に到達するまでに時間が掛るため、中性化深さが浅い場合よりも誤差が大きくなる。極端に中性化深さが深い場合は、調査方法そのものを再検討すると良い。
- ・ドリル法は一定量の粉が、ろ紙上に溜まらないと呈色を目視できないため、中性化深さを過大評価しやすい。そのため、低速での慎重な削孔と粉が一箇所に溜まりすぎないように注意する必要がある。
- ・仕上げ材が適正に機能していた場合は躯体の中性化進行は極端に遅くなり、教室などの人が常時集う場所で且つ仕上げ材の無い箇所の中性化の進行は速い。

【コンクリート硬化体の化学成分の分析装置】

- ・走査電子顕微鏡（SEM）は、電子ビームを試料に照射して跳ね返ってきた表面情報（二次電子または反射電子）を検出部で捉え、画像で表示する顕微鏡である。
- ・硬化コンクリート中の塩化物イオン量の測定方法として、電位差滴定法は、ろ液の一部を塩化

- 物イオン電極を用いた電位差滴定装置にセットし、0.1mol/L 硝酸銀溶液で滴定する手法である。
- ・ 蛍光 X 線分析装置では、各種の元素の同定できる。
 - ・ 示差熱重量分析装置(TG-DTA)では、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。

【弾性波を利用した調査方法】

- ・ 超音波法
- ・ 衝撃弾性波法
- ・ 打音法

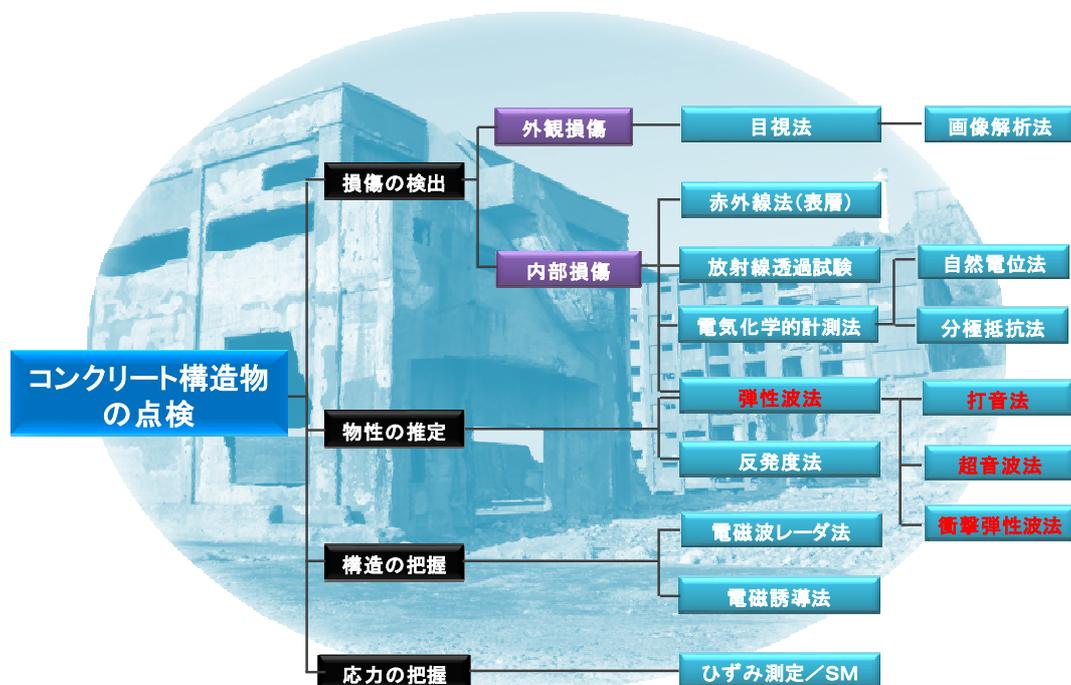


図 コンクリート構造物の点検 (調査) 手法

【自然電位法】

- ・コンクリート中の鉄筋が腐食することによって変化する鉄筋表面の電位を測定することで、鉄筋腐食の可能性を評価する。
- ・自然電位測定値は、コンクリートの含水率や抵抗率、含有塩分量の影響を受ける。また、うき箇所では正確な値を得ることはできない。
- ・かぶりコンクリートにひび割れが発生するまでの初期段階における腐食状況の評価に有効である。
- ・ASTM C 876によれば、照合電極に銅-飽和硫酸銅電極(CSE)を用いた場合、測定した自然電位が -350mV より卑(-)側であれば、90%以上の確率で腐食ありと判断される。しかし、 -500mV より卑な値であっても腐食が発生していない場合もあるため、はつり調査を行い、実際の腐食状況を踏まえて判定することが望ましい。

表 自然電位と鉄筋腐食性の関係

自然電位 (E)	鉄筋腐食の可能性
$-200\text{mV} < E$	90%以上の確率で腐食なし
$-350\text{mV} < E \leq -200\text{mV}$	不確定
$E \leq -350\text{mV}$	90%以上の確率で腐食あり

(銅／飽和硫酸銅照合電極基準)

【電磁波レーダー法による鉄筋探査】

- ・電磁波レーダー法は、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。
- ・かぶり探査のための走査線は、配筋マップの鉄筋間の中間かつ測定対象鉄筋に直交するように設定する。
- ・事前資料確認は、配管などの埋込み金物の有無について確認する。例えば、鋼繊維補強コンクリートのように電磁波レーダー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があるため、コンクリートの配合や表面保護材の種類なども確認するとよい。
- ・探査面が平滑ではない場合、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、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う。

【電磁誘導法】

- ・電磁誘導法は、測定機器中のコイルに交流電流を流すことによって磁場を発生させ、その磁場内に強磁性体が存在したときに生じる変化を捉えることで、その位置を測定する方法である。
- ・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。

- ・電磁誘導法では、測定対象の近くに鉄筋がある場合、実際のかぶりよりも小さく測定されるため、近接鉄筋の影響を補正し測定する。
- ・電磁誘導法では、鉄筋のかぶりを精度よく求めるには鉄筋径が既知であること、鉄筋径を精度よく求めるにはかぶりが既知であることが必要である。

【ASRの調査】

アルカリシリカ反応に対する補修の必要性、補修方法を検討する際、次のような判断を行うのが一般的である。

- ・アルカリシリカ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。
- ・補修を行った構造物でも、アルカリシリカ反応がさらに進行する可能性があるため、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。
- ・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ため、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。
- ・竣工後50年以上が経過しているような構造物では、進行が収束に近い状況となり、今後は急激に変状の程度が変化するとは考えにくい。

【中性化の計算】

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 15mm 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、約何年後か。

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。

【解答】 あと約 25 年

【解説】

中性化深さ C と経過年数 t との関係は、

$$C=A \times \sqrt{t} \quad \text{と表わされる。} \quad (A \text{ は定数})$$

建設後 25 年経過した屋外側壁面の中性化深さが 15 mm であるので

$$15=A \times \sqrt{25}=A \times 5$$

$$A=3 \quad \text{となる。}$$

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 30 mm になるときの建設後の経過年数は

$$30=3 \times \sqrt{2} \times \sqrt{t}=3 \times 1.41 \times \sqrt{t}$$

$$\sqrt{t}=7.09$$

$t=50.3$ 年 となる。

したがって屋内側壁面の中性化深さが 30 mmになると予測される時期は、建設後 50.3 年となり、あと 25.3 年($50.3-25=25.3$ 年)となる。

【表面保護工の下地処理方法】

- ・サンダーケレンは、脆弱部やモルタルのこぼれ、既存塗膜の除去が可能である。
- ・スチールショットブラストは、表面のレイタンスなどを除去する方法である。
- ・吐出圧が 10MPa 程度の高圧洗浄機を用いると、コンクリート表面の汚れや塩分などが除去できる。
- ・表面の含水率測定にあたり、高周波タイプ的水分計は、コンクリート表面に凹凸がある場合には測定精度が低い。

【アルカリ骨材反応による劣化が進行した構造物の補修】

- ・亜硝酸リチウムやけい酸リチウムなどのリチウム塩を含浸および注入する補修方法がある。
- ・劣化部分を除去し、亜硝酸リチウムを混和した断面修復材で断面修復を行う補修方法がある。
- ・反応生成物の膨張の原因である水分の浸入を抑えるため、ひび割れに可とう性の優れた材料を注入する補修方法がある。
- ・ASR による劣化が疑われる構造物に表面被覆を行う場合、反応生成物の膨張の原因である外部からの水分の供給を抑えるが、コンクリート内部の水蒸気を透過できる透湿性のある材料を選定する。なお、コンクリート片の剥落による被害が懸念される構造物や美観が問題となる構造物以外は、劣化の進行を早める恐れがあるほか、劣化の進行状況を把握し易くするため、表面被覆を行わない場合が多い。

【床版の補強工法】

- ・下面増厚工法は、床版下面に鉄筋などの補強材を配し、増厚材料を左官仕上げもしくは吹付け施工することにより増厚し、主に曲げ耐力の向上を図る工法である。
- ・床版上面増厚工法は、床版コンクリートを切削、研掃後、鋼繊維補強コンクリートを打ち込み、床版を増厚することで、押抜きせん断耐力の向上を図る工法である。
- ・下面増厚工法における増厚材料には、ポリマーセメントモルタルが用いられる場合が多い。
- ・床版上面増厚工法の鋼繊維補強コンクリートの製造には、①超速硬セメントを用いることが多い、②乾燥収縮によるひび割れを低減するために硬練のコンクリート（スランプ 5 cm程度）、とする、③専用の大型プラントを使用することが多い等の特徴がある。

【ひび割れ注入工法】

- ・ひび割れ注入材には、エポキシ樹脂やアクリル樹脂などの有機系、セメント系、ポリマーセメ

ント系がある。

- ・エポキシ樹脂注入材はセメント系、ポリマーセメント系注入材と比較して高価である。
- ・ひび割れが乾燥状態であると、注入材が硬化不良をおこすので、注入前にはひび割れが湿潤状態にあることを確認する必要がある。
- ・低圧低速注入工法は、①注入量のチェックが容易、②注入精度が作業員の熟練度に左右されない、③ひび割れ深部のひび割れ幅が 0.05mm 程度の狭い場合でもほぼ確実に注入できる等の特徴を有している。

【断面修復工法】

- ・断面修復工法は、コンクリート構造物が劣化により元の断面を喪失した場合の修復や、中性化、塩化物イオンなどの劣化因子を含むかぶりコンクリートを撤去した場合の断面修復を目的とした補修工法である。
- ・一般にエポキシ樹脂系断面修復材を用いた場合、施工方法は左官施工に限定される。また、ポリマーセメントモルタルを用いた場合、左官・充てん・吹付け施工が可能となる。
- ・断面が著しく深い場合は、樹脂系断面修復材の使用は避け、コンクリートと同等以上の圧縮強度、圧縮弾性係数を持ち、厚付け可能な無収縮モルタルや無収縮グラウト材等のセメント系材料により補修を行う。
- ・セメント系断面修復材は硬化に時間を要するものが多いので、必要な養生期間を確保できるような工程計画とする必要がある。

【表面含浸工法】

- ・表面含浸工法は、表面含浸材をコンクリート表面に塗布することで、コンクリート内部に含浸し、コンクリート表層部を改質して、透水抑制効果を発揮し塩化物などの劣化因子がコンクリート表面から内部に浸透することを抑制することにより、コンクリート構造物の耐久性を向上させる工法である。
- ・表面含浸材は、一般に広く使用される撥水タイプのシラン系と固化タイプのケイ酸塩系がある。
- ・シラン系は晴天時の施工が原則で、通常は施工条件として、コンクリートの表面水分率の上限が設定されている。コンクリートが湿潤状態にあると、反応が瞬時に起こり、含浸しにくくなる。
- ・ケイ酸塩系は、水分を媒体にして浸透する材料のため、施工は湿潤状態で行われる。