

2024年度 コンクリート診断士試験解説

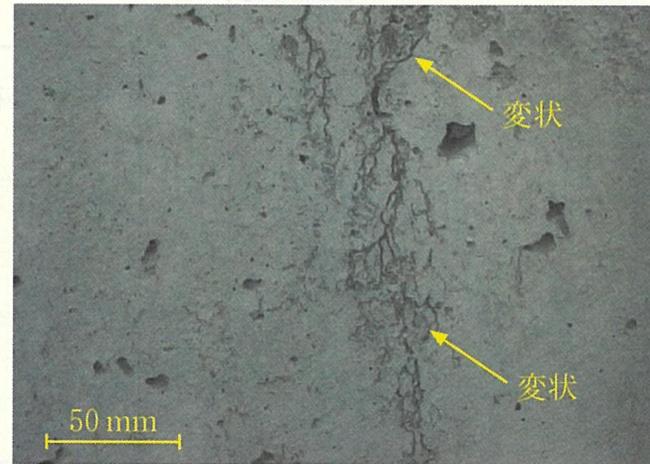
十河 茂幸
江良 和徳

【問題 1】

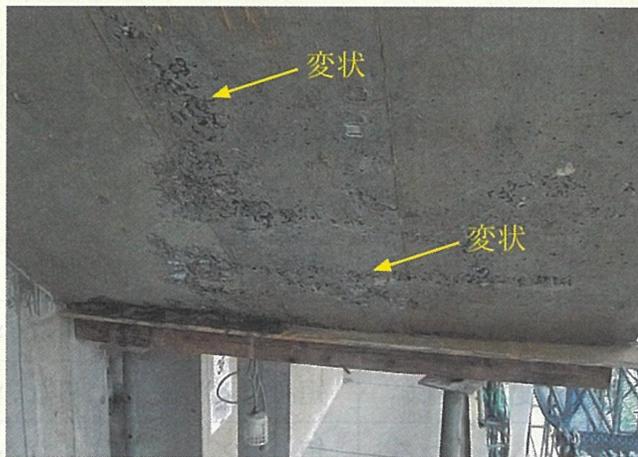
RC造建築物において、型枠の取外し直後に写真(A)～(C)に示すような変状が認められた。それぞれの変状とその発生要因の組合せとして、次の(1)～(4)のうち、適当なものはどれか。



写真(A) 壁部材



写真(B) 柱部材



写真(C) 階段の上裏

	(A)	(B)	(C)
(1)	許容打重ね時間間隔の超過	プラスチック収縮	過度な締固め
(2)	不均一な剥離剤の塗布	プラスチック収縮	締固め不足
(3)	許容打重ね時間間隔の超過	ブリーディング水の上昇	締固め不足
(4)	不均一な剥離剤の塗布	ブリーディング水の上昇	過度な締固め

問題(1)の解説

正解は、(3)

写真(A)は、壁部材に発生したコールドジョイントである。コールドジョイントは層打ちする際に、許容打ち重ね時間間隔を超えた場合に生じる。

写真(B)は、柱部材の型枠表面をブリーディング水が上昇する過程でコンクリート表面が洗われたような状態となっている。

写真(C)は、コンクリートの締固めが不十分な場合に生じる豆板である。

よって、(A)には「許容打重ね時間間隔の超過」、

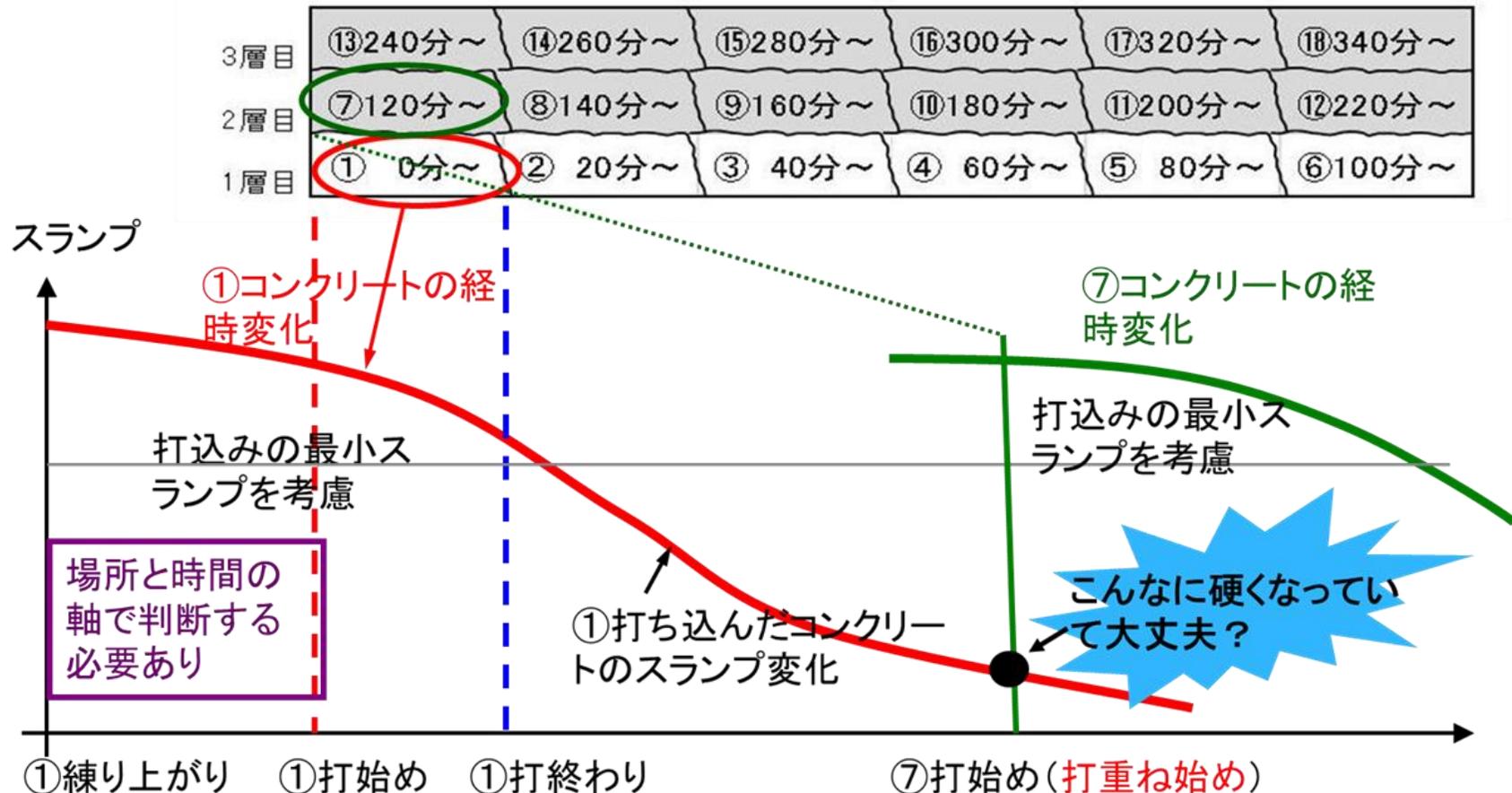
(B)には「ブリーディング水の上昇」、

(C)には「締固め不足」が入る。

コールドジョイントの発生メカニズム

【パターン I】 すべてのブロックを層ごとに打設した場合

例えば、⑦ブロックは①ブロックの打設から120分後に打設することになる。同様に、⑦～⑱ブロックすべてで打重ねの間隔が120分になり、コールドジョイントが発生する危険性が高まる。

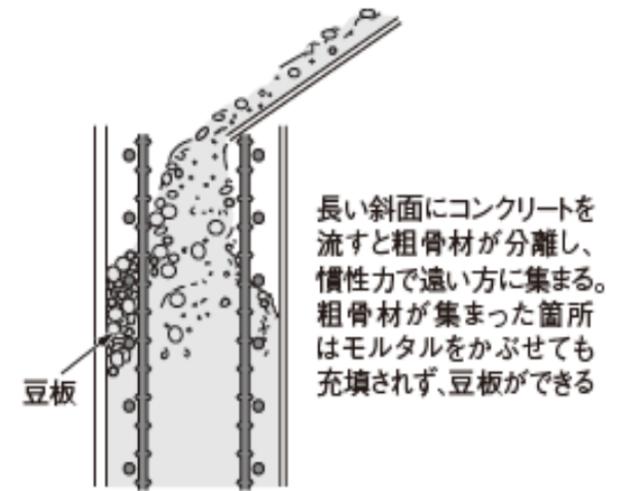
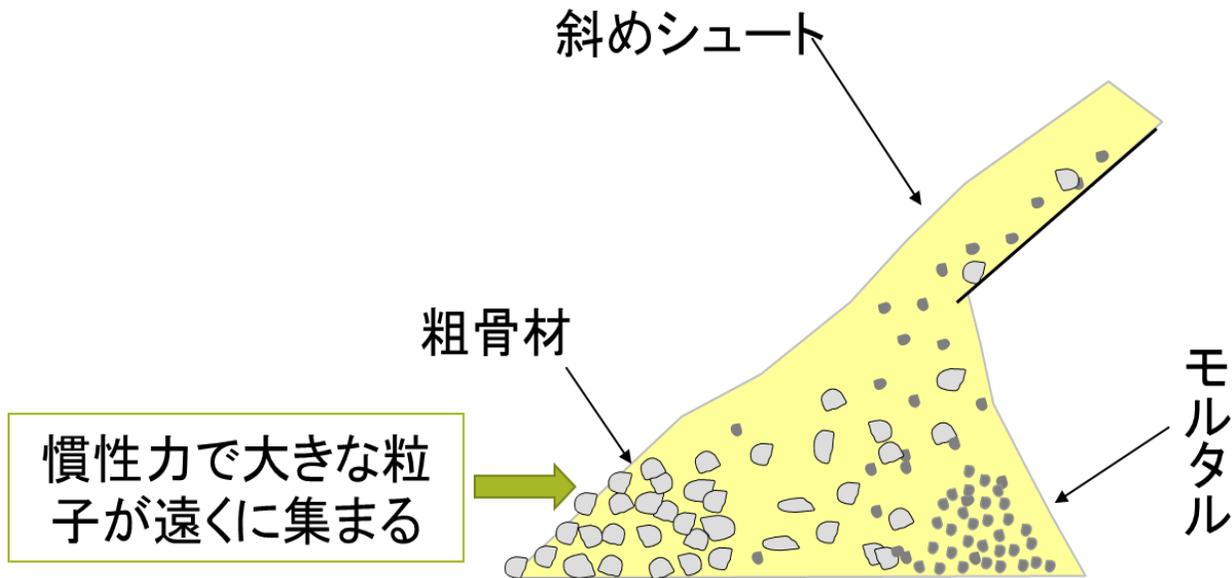


ブリーディングにより生じる変状



豆板のできる原理

- 打込み中に粗骨材の分離をさせないことが重要
- 縦シュートでも落下高さが高いと分離

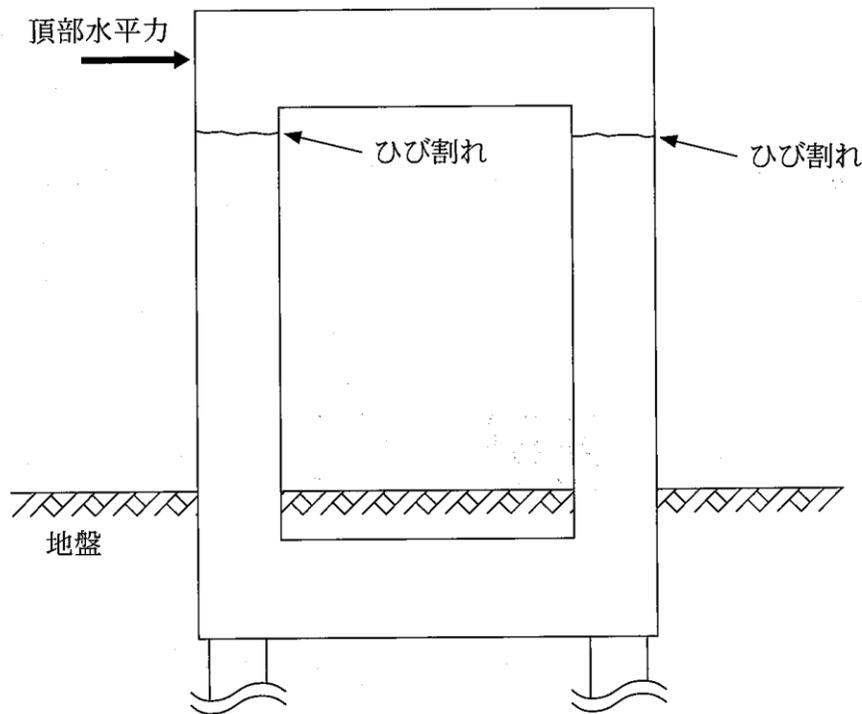


なお、締固めをしても修復しない場合もある。

【問題 2】

下図の鉄道高架橋の柱部材のコンクリート打継ぎ部において、断面を貫通するひび割れが発生した。ひび割れがない場合と比較した際の、頂部水平力に対する構造物の剛性，固有周期，曲げ耐力の大小または長短の関係の組合せとして、次の(1)～(4)のうち、適当なものはどれか。

なお、本構造物は柱が先行して曲げ破壊するように適切に配筋されているものとする。



	剛性	固有周期	曲げ耐力
(1)	小さくなる	長くなる	変わらない
(2)	変わらない	短くなる	変わらない
(3)	小さくなる	短くなる	小さくなる
(4)	変わらない	長くなる	小さくなる

図 鉄道高架橋の橋軸直角方向の断面図

問題(2)の解説

正解は、(1)

コンクリート部材に局部的にひび割れが生じると剛性は低下する。

また、ひび割れによって剛性が低下すると固有周期は長くなる。

しかし、コンクリートにひび割れが生じても、鉄筋が健全であれば部材の曲げ耐力は変わらない。

構造物の応答解析を行う耐震工学分野では、振動理論で用いられる円固有振動数 ω_0 や固有振動数 f の代わりに、固有周期 T （単位：秒）が多く用いられ、以下の関係式で表される。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad \text{式 (1)}$$

ここで、 k :剛性, m :質量とする。

コンクリート部材には局部的にひび割れが生じると、初期の弾性剛性より剛性が小さくなる。剛性が低下すると、式(1)から固有周期は長くなる。

また、コンクリート部材の曲げ耐力として、等価応力ブロックを用いて曲げモーメントのみが作用する場合の矩形断面の式である式(2)を参照にすると、曲げ耐力(M_u)は鉄筋の断面積(A_{st})、鉄筋比 ρ_t 、設計降伏点強度(f_{syd})、有効高さ(d)、コンクリートの設計圧縮強度(f_{cd})で決まるので、ひび割れが発生しても曲げ耐力は変わらない。

$$M_U = A_{st} \cdot f_{syd} \cdot d \left(1 - \frac{\rho_t}{1.7} \cdot \frac{f_{syd}}{f_{cd}} \right) \quad \text{式 (2)}$$

よって、剛性は「小さくなる」、固有周期は「長くなる」、曲げ耐力は「変わらない」が入る。

以上より、適当なものは(1)である。

【問題 3】

コンクリートの炭酸化および中性化に関する次の記述中の(A)～(D)に当てはまる(1)～(4)の語句の組合せのうち、適当なものはどれか。

細孔内に浸入した二酸化炭素が細孔溶液中に溶解し、各種セメント水和物と反応するのが炭酸化反応である。コンクリート内部の空隙が水により満たされた場合には、二酸化炭素が(A)ため、炭酸化の進行が(B)。

、細孔溶液のpHは、通常12～13のアルカリ性である。このアルカリ性の保持に寄与しているのは水酸化カルシウムである。セメント種類以外の配(調)合が同条件のとき、(C)を用いた場合は、(D)を用いた場合より、一般に水酸化カルシウムの生成量が少なくなるため、中性化しやすい傾向がある。

	(A)	(B)	(C)	(D)
(1)	昇華しやすくなる	速くなる	普通ポルトランドセメント	高炉セメントB種
(2)	昇華しやすくなる	速くなる	高炉セメントB種	普通ポルトランドセメント
(3)	内部まで浸入しにくくなる	遅くなる	普通ポルトランドセメント	高炉セメントB種
(4)	内部まで浸入しにくくなる	遅くなる	高炉セメントB種	普通ポルトランドセメント

問題(3)の解説

正解は(4)

二酸化炭素は、細孔内に浸入すると細孔溶液中に溶解し、セメント水和物と反応するが、細孔空隙に水が満たされていると、二酸化炭素が気体として内部にまで浸入しにくくなるために、炭酸化の進行が遅くなる。

また、配(調)合が同条件のとき、高炉セメントB種を用いると、普通ポルトランドセメントを用いた場合よりも水酸化カルシウムの生成量が少なくなるため、中性化しやすい傾向にある。

中性化(炭酸化)のメカニズム

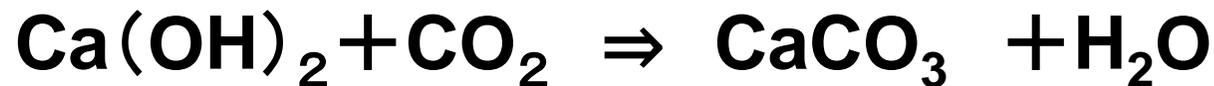
セメント: CaO (石灰石 CaCO_3 を焼成してできる)

この時、 CO_2 を排出

コンクリートは水と反応してできる。

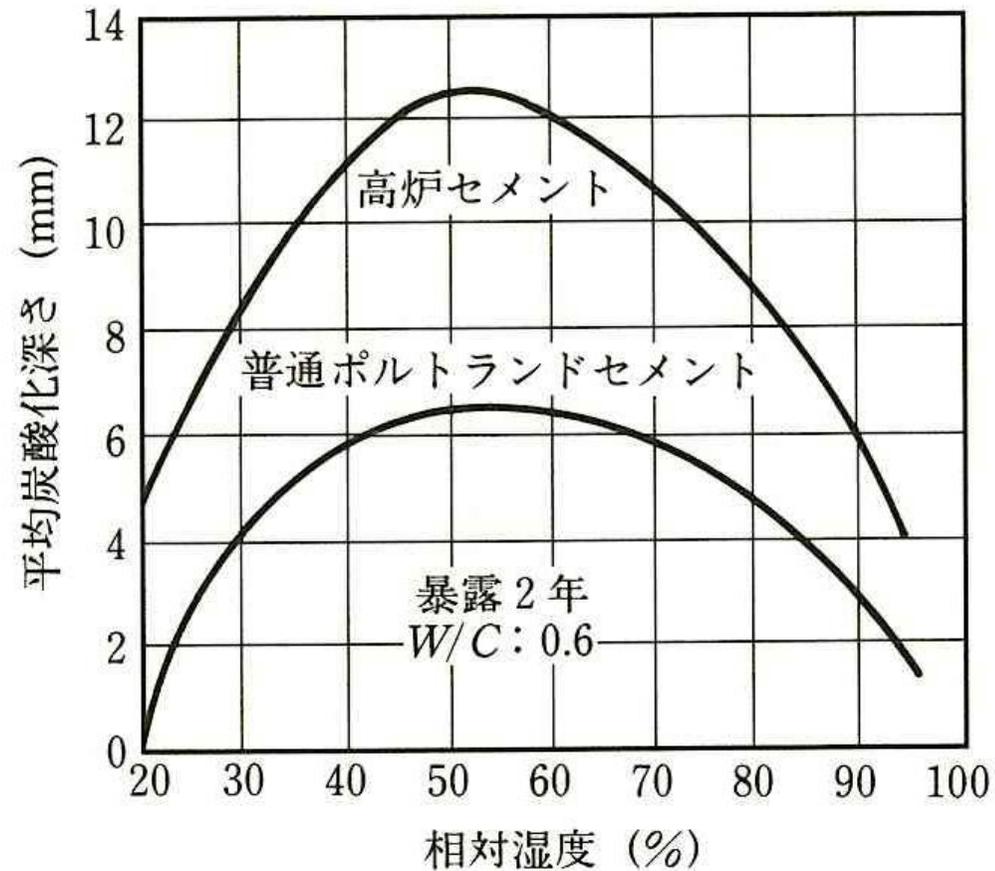


二酸化炭素 (CO_2) の作用で炭酸化(中性化と呼ぶ)



pH8.5程度

中性化の進行に及ぼす湿度の影響



【問題 4】

塩化物イオンによるコンクリート中の鉄筋腐食に関する次の記述中の(A)～(C)に当てはまる(1)～(4)の化学式および語句の組合せのうち、適当なものはどれか。

鉄筋近傍の塩化物イオン濃度が一定以上になると、鉄筋の不動態皮膜が破壊される。これにより(A)の化学式で表される(B)反応の速度が大きくなる。また、コンクリート中の塩化物イオン濃度が高くなると、コンクリートの電気抵抗が(C)なる傾向があり、腐食速度が大きくなる要因の一つとなる。

	(A)	(B)	(C)
(1)	$\text{Fe} + 2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{FeCl}_2 + 2 \text{e}^-$	アノード	大きく
(2)	$\text{Fe} + 2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{FeCl}_2 + 2 \text{e}^-$	カソード	小さく
(3)	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^-$	アノード	小さく
(4)	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^-$	カソード	大きく

問題(4)の解説

正解は、(3)

鉄筋近傍の塩化物イオン濃度が腐食限界濃度以上になると、鉄筋の不働態皮膜が破壊され、 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ の化学式で表されるアノード反応の速度が大きくなる。

コンクリートの電気抵抗の減少に伴い、腐食速度が大きくなる要因の1つとなる。

【鉄筋腐食の模式図】

【塩害】

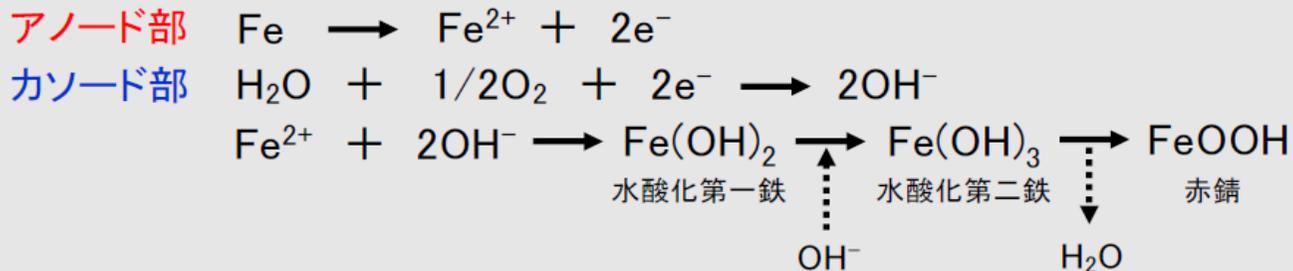
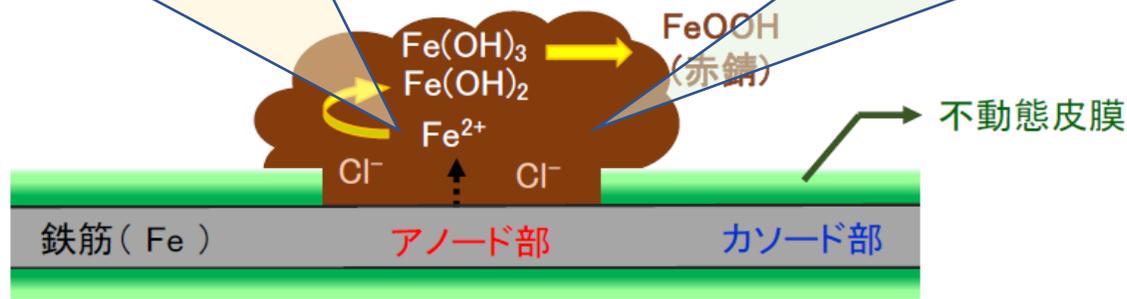
高い塩化物イオン量
により不動態皮膜が破壊される

↓
鋼材腐食 → ひび割れや浮き剥離

【中性化】

コンクリートのpHの低下
により不動態皮膜が破壊される

↓
鋼材腐食 → ひび割れや浮き剥離



【問題 5】

アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張に関する次の(1)～(4)の記述のうち、最も適当なものはどれか。

- (1) アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張量は、コンクリート中に含まれる反応性骨材の量が多いほど大きくなる。
- (2) アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張は、コンクリート中の細孔溶液の水酸化物イオン(OH⁻)濃度が低いほど促進される。
- (3) アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張速度は、コンクリートの中性化が進行すると大きくなる。
- (4) アルカリ金属イオンの一種であるリチウムイオンには、アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張を抑制する効果がある。

問題(5)の解説

正解は、(4)

アルカリシリカゲルの生成量や膨張量は、反応するシリカ鉱物やアルカリイオンの量に依存する。ただし、シリカ鉱物が多ければ多いほど膨張が増加するわけではない。このようになることをペシマム現象と呼び、(1)の記述は不適當。

アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張は、コンクリート中の細孔溶液の水酸化物イオン濃度が低いほど抑制されるので、(2)の記述も不適當。

アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張速度は、中性化が進行すると小さくなるので、(3)の記述も不適當。

アルカリシリカゲルにリチウムイオンが供給されると、吸水性を持たないリチウムモノシリケートまたはリチウムジシリケートに置換され、アルカリシリカゲルが非膨張化される。よって(4)の記述は適當である。

亜硝酸リチウム(リチウムイオン)によるASR膨張抑制

【アルカリシリカゲルの吸水膨張】



反応性骨材
Si

水

水

アルカリシリカゲル

《化学式》

$$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O}$$

アルカリシリカゲル 水

$$\rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$$

吸水膨張

【リチウムによるゲルの非膨張化】



水

Li⁺

反応性骨材
Si

Li⁺

非膨張化されたゲル

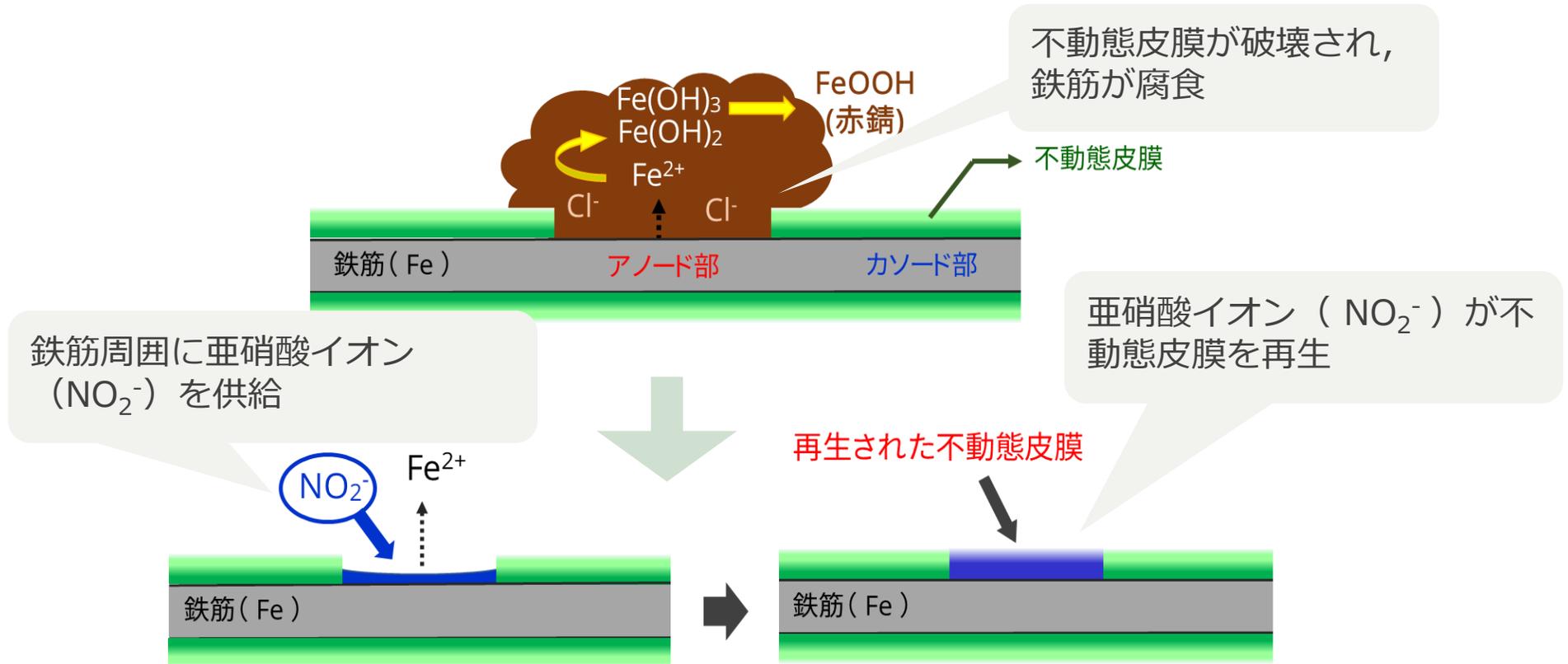
水

《化学式》

$$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \quad \text{Li}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$$

イオン交換

亜硝酸リチウム（亜硝酸イオン）による鉄筋腐食抑制



【問題 6】

コンクリートの初期凍害に関する次の記述中の(A)～(C)に当てはまる(1)～(4)の語句の組合せのうち、最も適当なものはどれか。

コンクリートの初期凍害とは、コンクリートの打込み後から硬化の初期段階に凍結または数回の凍結融解の繰返しを受けることによって、コンクリート内部の(A)、強度低下、ひび割れなどを起こす現象である。初期凍害を防ぐためには、所定の圧縮強度以上となるまで(B)を行う必要がある。初期凍害を受けた場合、所要の品質は、その後適切な養生を(C)。

	(A)	(B)	(C)
(1)	組織が破壊され	給熱養生	行えば得られる
(2)	組織が破壊され	給熱養生	行っても得られない
(3)	成分が溶出し	湿潤養生	行っても得られない
(4)	成分が溶出し	湿潤養生	行えば得られる

問題(6)の解説

正解は、(2)

初期凍害とは、硬化初期にコンクリート中の水分が凍結することでコンクリート内部の組織が破壊され、強度低下、ひび割れを起こす劣化現象である。その後、適切な養生を行ってもコンクリートの性能は回復しない。

初期凍害を防止するには、所定の強度となるまで適切な養生を行う必要がある。給熱養生が望ましいが、湿潤養生の実施も間違いではない。

【問題 7】

侵食性炭酸によるコンクリートの化学的侵食に関する次の記述中の(A)～(E)に当てはまる(1)～(4)の語句の組合せのうち、適当なものはどれか。

水に二酸化炭素(CO_2)が溶解すると炭酸(H_2CO_3)を生成する。この炭酸は、下図に示すように、液相のpHが12程度の高い状態では(A)に解離し、コンクリート中の水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)と反応し(B)を生成する。しかし、pHが徐々に低くなると炭酸の解離状態として(C)の存在比率が高まり(D)が生成する。(D)は(B)より溶解度が(E)ため、コンクリートの溶脱が促進されることとなる。この侵食性炭酸による劣化は、排水処理施設における曝気槽などで生じやすく、表層部のセメント硬化体が洗われ、骨材が露出した状態となる。

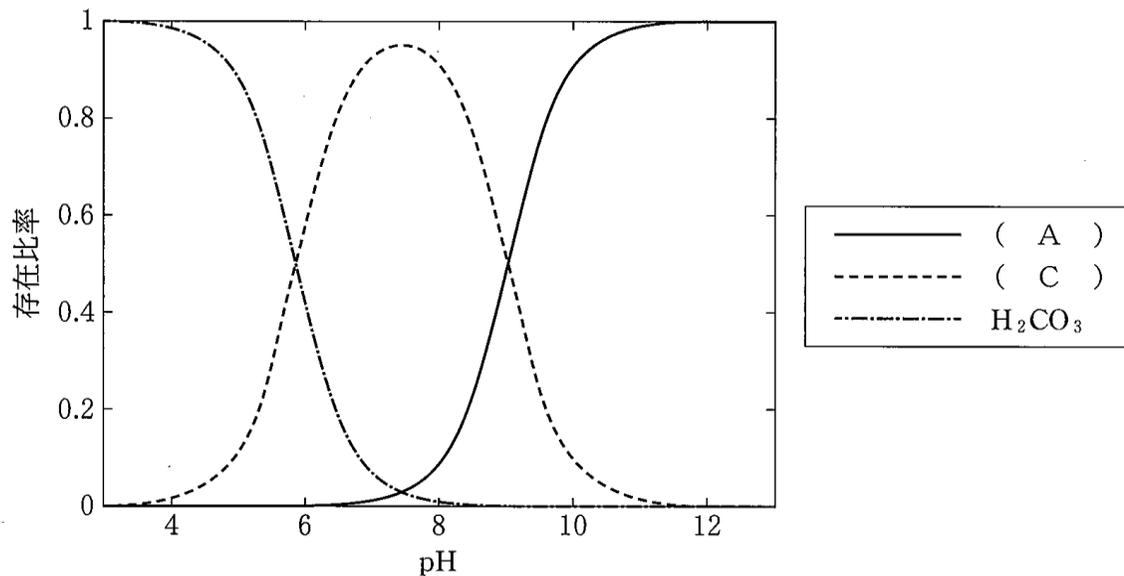


図 溶液の pH と炭酸の解離状態の関係

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
(1)	炭酸イオン (CO_3^{2-})	炭酸カルシウム (CaCO_3)	炭酸水素イオン (HCO_3^-)	炭酸水素カルシウム ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)	高い
(2)	炭酸イオン (CO_3^{2-})	炭酸カルシウム (CaCO_3)	炭酸水素イオン (HCO_3^-)	炭酸水素カルシウム ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)	低い
(3)	炭酸水素イオン (HCO_3^-)	炭酸水素カルシウム ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)	炭酸イオン (CO_3^{2-})	炭酸カルシウム (CaCO_3)	低い
(4)	炭酸水素イオン (HCO_3^-)	炭酸水素カルシウム ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)	炭酸イオン (CO_3^{2-})	炭酸カルシウム (CaCO_3)	高い

問題(7)の解説

正解は、(1)

液相のpHが12程度と高い状態では炭酸イオンに解離してコンクリート中の水酸化カルシウムと反応し、炭酸カルシウムを生成する。

しかし、pHが徐々に低くなると炭酸の解離状態として、炭酸水素イオンの存在比率が高まり、炭酸水素カルシウムが生成される。

炭酸水素イオンは炭酸カルシウムに比べて溶解度が高いため、コンクリートの溶脱を促進することになる。

各pHにおける炭酸の解離の存在率を示すと図-1のようになる

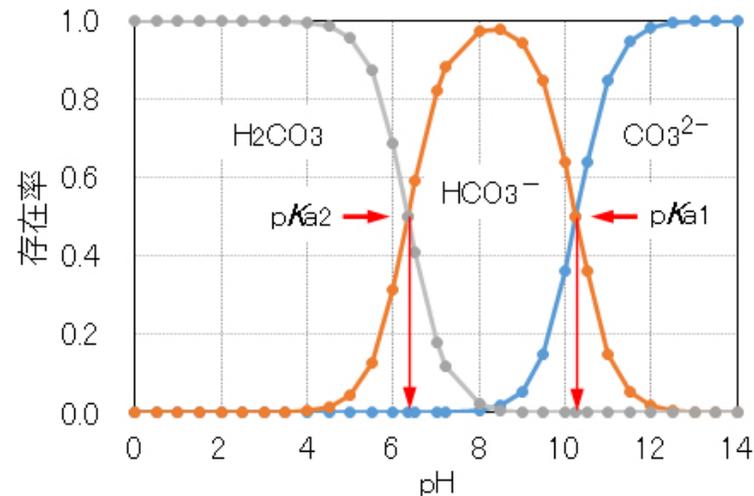


図-1 溶液のpHと炭酸の解離状態

この図より、液相のpHが12程度の高い状態ではA炭酸イオンCO₃²⁻に解離し、コンクリート中の水酸化カルシウムCaOH₂と反応し、B炭酸カルシウムCaCO₃を生成する。しかし、pHが徐々に低くなると炭酸の解離状態として、C炭酸水素イオンHCO₃⁻の存在比率が高まり、D炭酸水素カルシウムCaHCO₃²⁻が生成する。

炭酸水素イオンHCO₃⁻は炭酸カルシウムCaCO₃に比べて溶解度が100倍程度高いため(炭酸水素カルシウムCaHCO₃²⁻は水溶液中にのみ存在する化学種であるために水への溶解度が真の意味で定義されない)、コンクリートの溶脱が促進されることになる。この浸食性の炭酸による劣化は、排水処理施設の曝気槽などで生じやすく、表層部のセメント硬化体が洗われ、骨材が露出した状態になる。

以上より、適当なものは(1)である。

【問題 8】

鋼道路橋 RC 床版の疲労に関する次の記述中の (A) ~ (D) に当てはまる (1) ~ (4) の語句の組合せのうち、適当なものはどれか。

劣化初期において、床版の乾燥収縮が主桁に拘束されると、(A) 方向にひび割れが発生する。その後、繰返し荷重を受けるとひび割れ(B) は大きくなる。さらに押抜きせん断耐力の低下が顕著となる段階では、ひび割れ(B) の変化は小さいものの、ひび割れ(C) が徐々に大きくなる。なお、(D) 状態にある RC 床版は、上述のような疲労による劣化の進行が非常に速くなる。

	(A)	(B)	(C)	(D)
(1)	橋軸	幅	密度	滞水
(2)	橋軸	密度	幅	乾燥
(3)	橋軸直角	密度	幅	滞水
(4)	橋軸直角	幅	密度	乾燥

問題(8)の解説 (2020年問題の再掲)

正解は、(3)

鋼道路橋床版コンクリートの疲労では、劣化初期に床版コンクリートの乾燥収縮によって橋軸直角方向にひび割れが発生する。

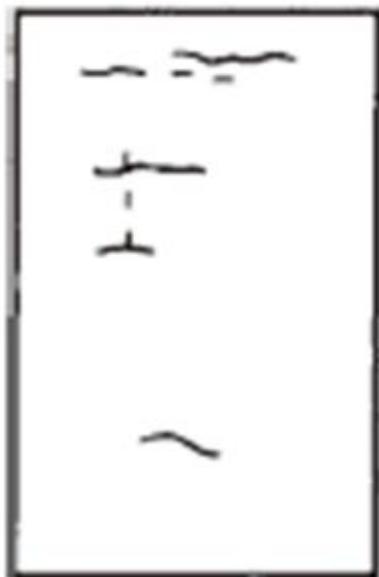
その後、繰り返し荷重によってひび割れが橋軸方向にも発生し、ひび割れ密度が増える。

さらに、ひび割れ幅が増加した結果、押し抜きせん断耐力の低下を招いて抜け落ちが生じる。

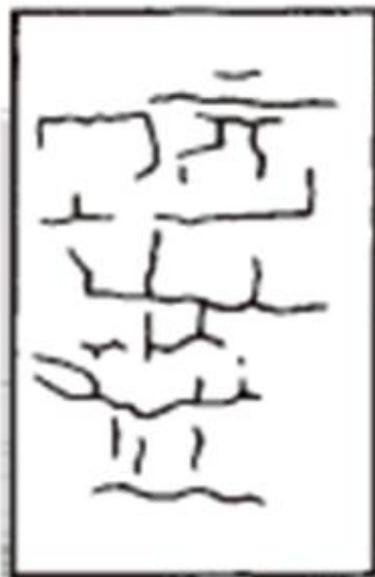
なお、雨水の供給などで水分を含むと、疲労による劣化が促進される。

床版の疲労劣化の過程

●鉄筋コンクリート床版の疲労による劣化進行状態



状態Ⅰ「潜伏期」
1方向ひび割れ



状態Ⅱ「進展期」
2方向ひび割れ



状態Ⅲ「加速期」
ひび割れ網細化と
角落ち



状態Ⅳ「劣化期」
床版の陥没

【問題 9】

加熱前(20℃)の圧縮強度が 30 N/mm²、ヤング係数が 28 kN/mm² のコンクリートを加熱した際の、コンクリートの温度と圧縮強度の残存比の関係を図1に、コンクリートの温度とヤング係数の残存比の関係を図2に示す。それぞれの曲線の概形(A~D)の組合せとして、次の(1)~(4)のうち、適当なものはどれか。

ここで、コンクリートの温度は加熱時の最高温度、残存比は加熱前(20℃)の値に対する加熱冷却直後(20℃)の値の比とする。

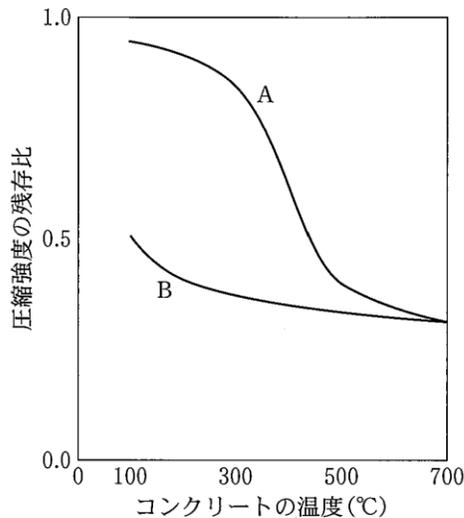


図1 コンクリートの温度と圧縮強度の残存比

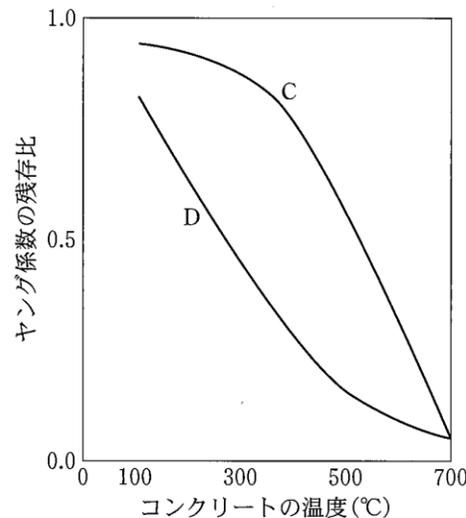


図2 コンクリートの温度とヤング係数の残存比

	圧縮強度の残存比	ヤング係数の残存比
(1)	A	C
(2)	A	D
(3)	B	C
(4)	B	D

問題(9)の解説

正解は、(2)

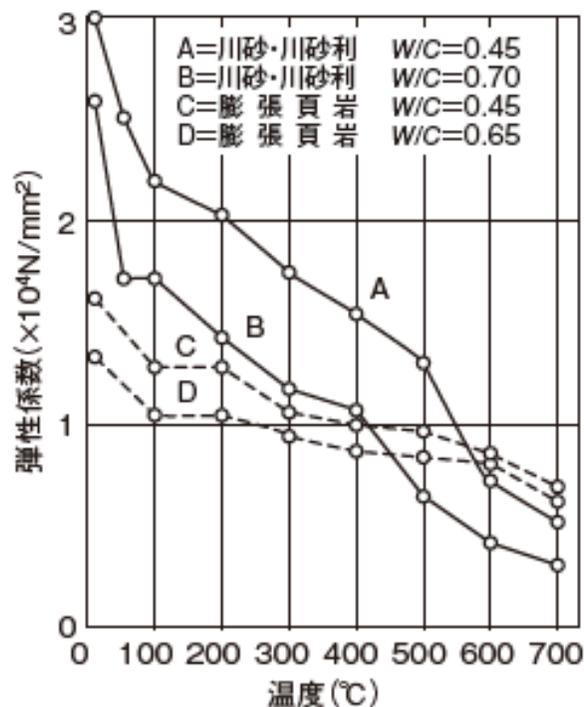
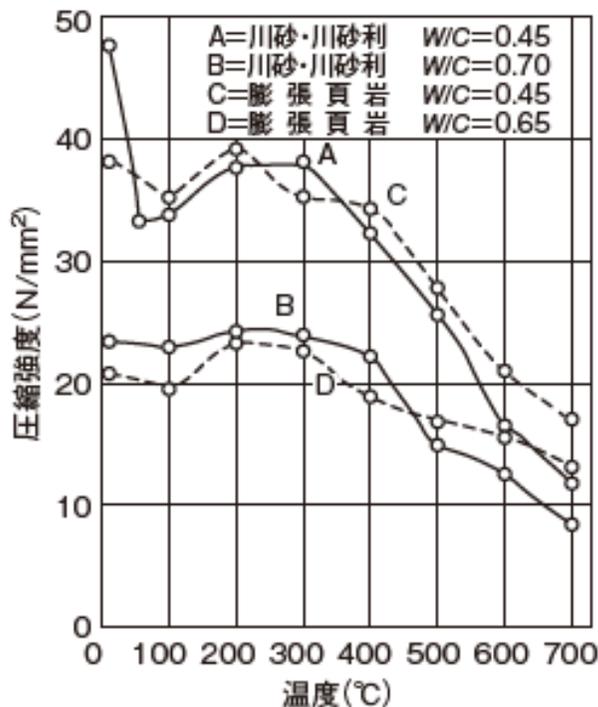
コンクリートの圧縮強度は、コンクリート温度が 300°C 程度までは大きく低下しないが、約 500°C を超えると残存比で約50%と低下が顕著となる。

コンクリートのヤング係数は、コンクリート温度の上昇に伴って低下する度合いが、圧縮強度よりもより大きくなる。約 300°C でも残存比は約50%となる。

よって、圧縮強度の残存比には「A」、ヤング係数には残存比には「D」が入る。

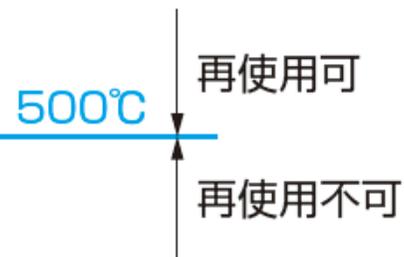
火害による強度・弾性係数の変化

●受熱温度とコンクリートの強度・弾性係数

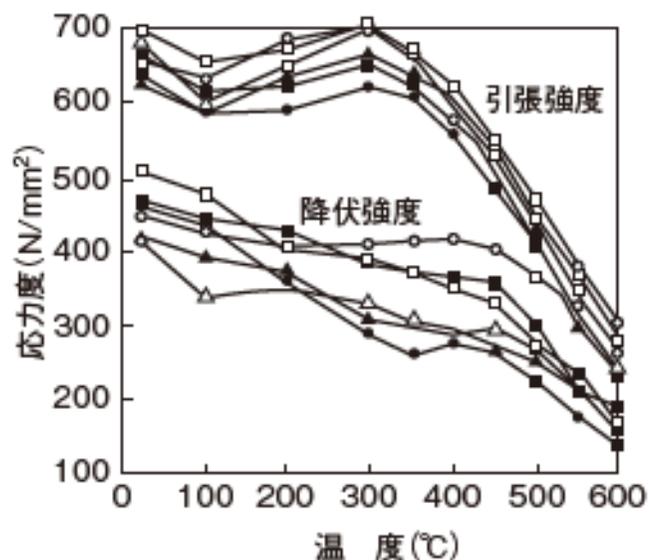


火害を受けたRC構造物の影響

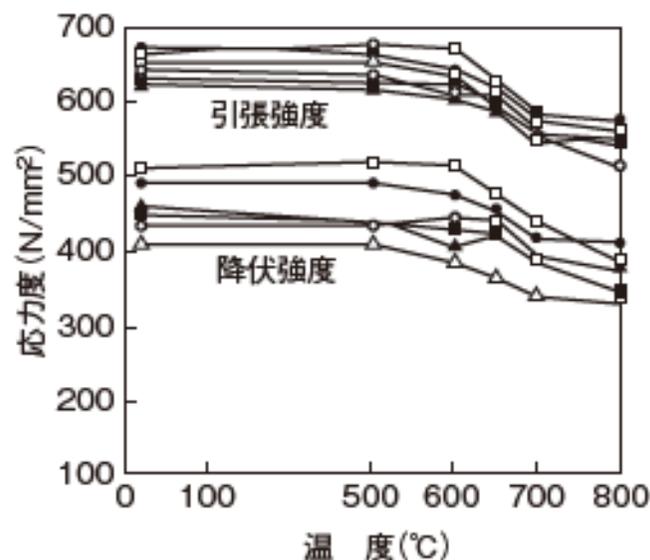
変色状況	温度範囲 (°C)
表面にすすが付着	300未満
ピンク色	300~600
灰白色	600~950
淡黄色	950~1200
溶解	1200以上



● 受熱温度と鉄筋の強度



(a)加熱中



(b)加熱後

数社の複数の製品のデータを示しているが、傾向は同様である

【問題 10】

下図は1970年代に積雪寒冷地に建設された鋼2径間連続非合成鈹桁橋である。この橋梁では、図1および図2中のア部で、RC床版上面の顕著な砂利化(土砂化)が見られた。砂利化(土砂化)が生じた原因に関する次の記述中の(A)～(D)に当てはまる(1)～(4)の語句の組合せのうち、適当なものはどれか。

この橋梁には縦断方向の勾配があり、ア部は凍結防止剤を含む路面水が滞水(A)。この環境条件により、他の箇所よりも(B)による(C)が生じやすく、この部位で砂利化(土砂化)が生じた要因と考えられる。さらに、ア部は(D)が大きくなる位置であったことも影響していると考えられる。

	(A)	(B)	(C)	(D)
(1)	しやすい	中性化	鋼材腐食	長期の曲げ荷重
(2)	しやすい	凍結融解	スケーリング	車両の制動荷重
(3)	しにくい	中性化	鋼材腐食	車両の制動荷重
(4)	しにくい	凍結融解	スケーリング	長期の曲げ荷重

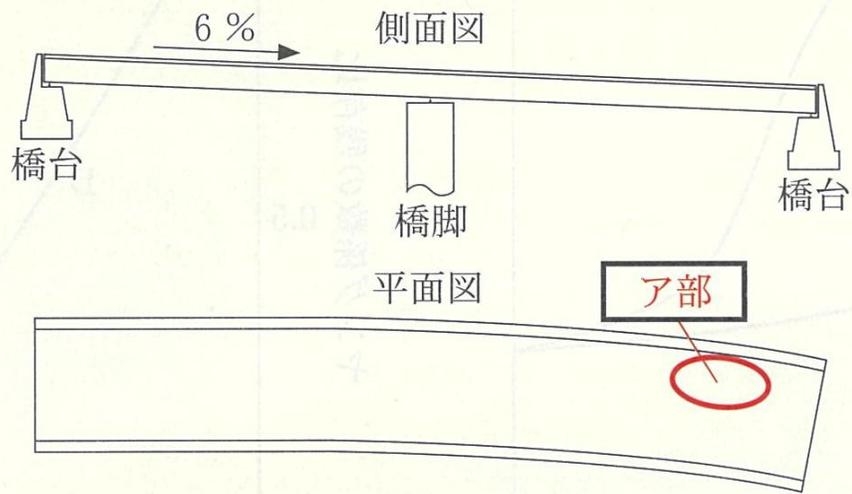


図1 床版の砂利化(土砂化)が生じた橋梁の模式図

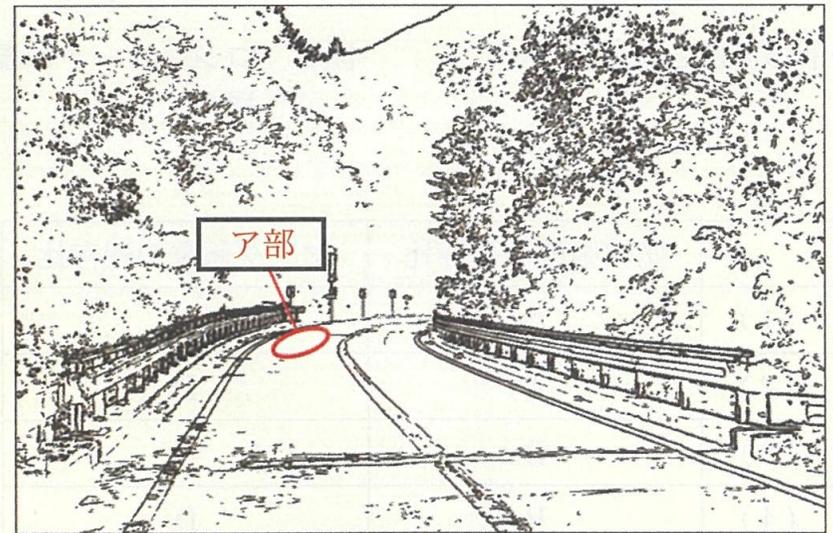


図2 対象橋梁の全景(イメージ図)

問題(10)の解説

(2019年度記述問題を択一式にした問題)

正解は、(2)

この橋梁には縦断勾配があり、ア部は凍結防止剤を含む路面水が滞水しやすい。

凍結防止剤を含む水は凍結融解によるコンクリートのスケーリングを促進する。これが原因となり、ア部で砂利化を生じたものと考えられる。

また、ア部は最も低い地点であり、車両の制動荷重の繰り返しによる疲労の影響も加わって砂利化が進行したと推察される。

よって、(A)には「しやすい」、(B)には「凍結融解」、(C)には「スケーリング」、(D)には「車両の制動荷重」が入る。

砂利化・土砂化



【問題 11】

温暖な地域に位置する RC 造建築物の外壁に、写真に示すようなポップアウトが複数箇所確認された。この原因を特定し、補修を実施するための調査方法に関する次の記述中の (A) ~ (C) に当てはまる (1) ~ (4) の語句の組合せのうち、適当なものはどれか。

現地調査では、ポップアウトが生じて円錐形にえぐられた構造物側と、剥離したコンクリート片それぞれにおいて、ポップアウト核(原因となった膨張性の粒子)の有無を目視確認する。ポップアウト核が確認された場合、原因となった鉱物の種類を特定するため、これらの試料を採取し、(A)による観察や(B)による分析を行う。ポップアウトの原因となる鉱物の一例として、(C)に含まれるコーリンガイトがあげられる。

また、コンクリート片の剥落防止対策を施す場合などで膨張圧の推定が必要な場合には、図に示すようなポップアウトの深さやポップアウト核の直径などを測定しておくことが望ましい。

	(A)	(B)	(C)
(1)	マイクロスコープ	粉末 X 線回折	石灰石
(2)	マイクロスコープ	熱重量・示差熱分析	蛇紋岩
(3)	偏光顕微鏡	熱重量・示差熱分析	石灰石
(4)	偏光顕微鏡	粉末 X 線回折	蛇紋岩



ポップアウト核

写真 ポップアウトの状況

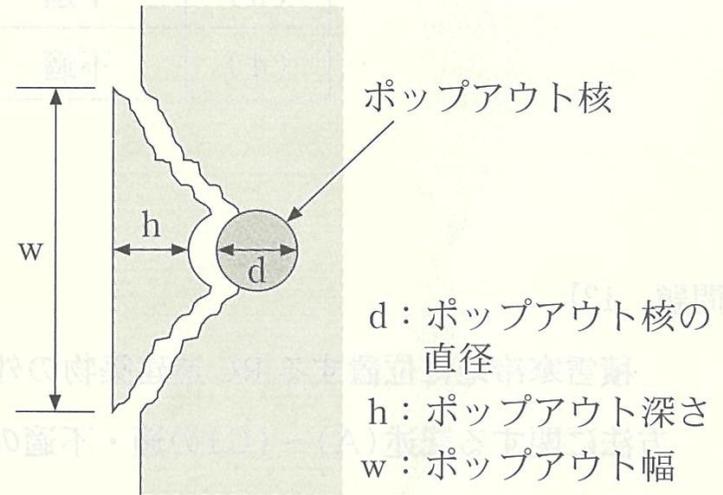


図 ポップアウトの模式図

問題(11)の解説

正解は、(4)

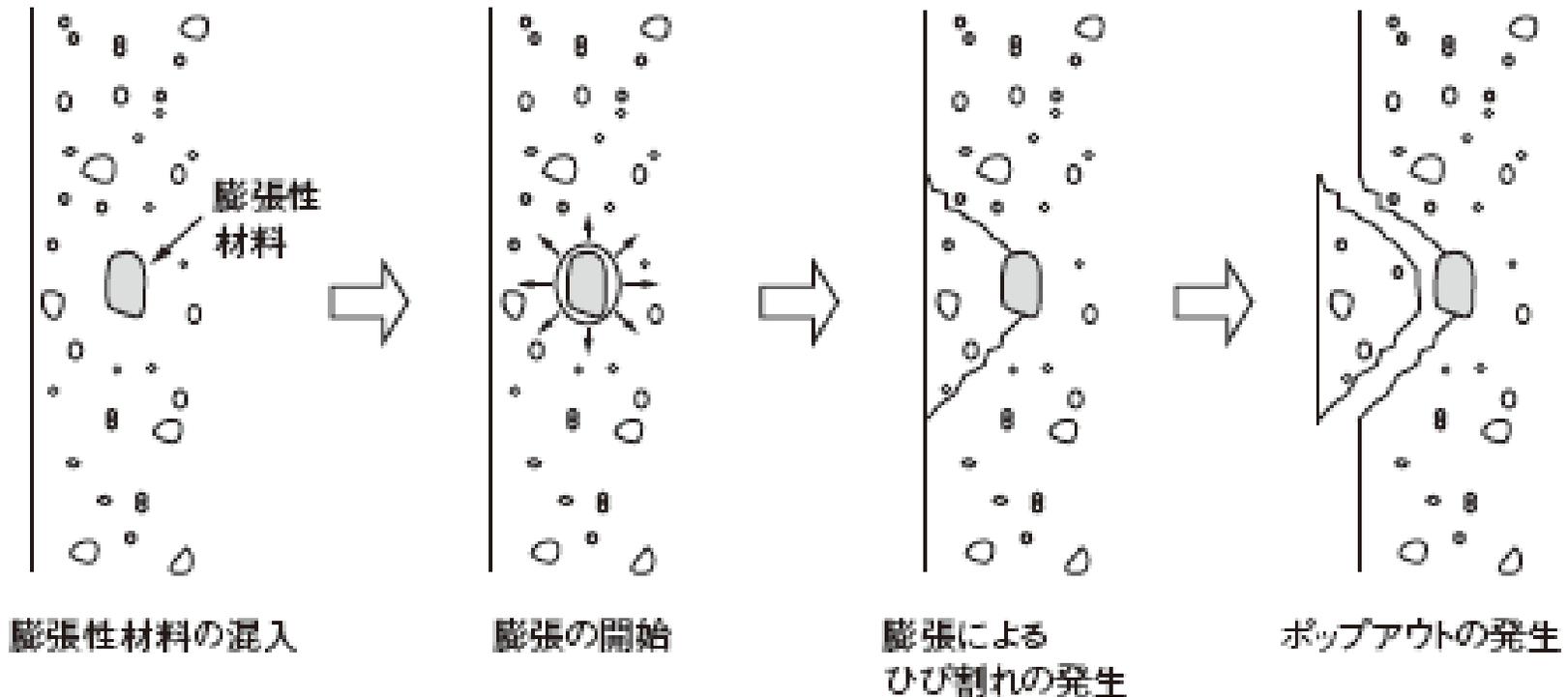
ポップアウトの原因となる材料は、骨材に含まれる粘土鉱物、アルカリシリカ反応を生じた骨材、乾湿の繰り返しに伴う体積変化による骨材の劣化、炭酸化による骨材の劣化(蛇紋岩中のコーリンサイト)、酸化・加水分解による骨材の劣化(黄鉄鉱)、凍結による吸水性の高い骨材の氷圧、硫酸塩による劣化、セメントの異常膨張(消石灰、マグネシア)などがある。

材料の特定には、偏光顕微鏡による観察や粉末X線回折が用いられる。

よって、(A)には「偏光顕微鏡観察」、(B)には「粉末X線回折」、(C)には「蛇紋岩」が入る。

ポップアウトのメカニズム

●ポップアウトの発生メカニズム



膨張性の骨材を含むと発生
吸水率の大きい骨材や濁沸石や蛇紋岩など

岩石のいろいろ

濁沸石(ローモンタイト)



角閃石安山岩



黒雲母花崗岩



玄武岩



はんれい岩



流紋岩



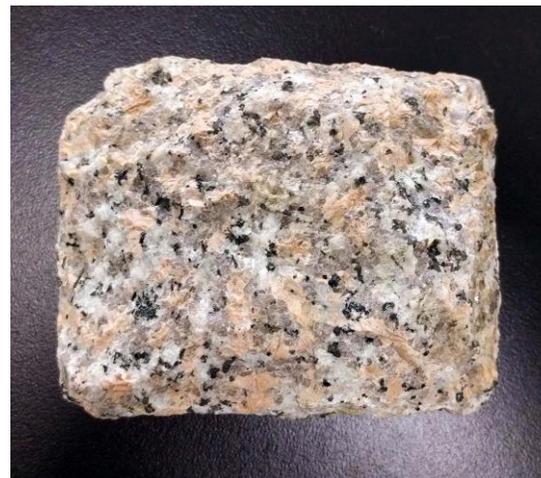
閃緑岩

蛇紋岩(じゃもんがん、serpentinite)は、主に蛇紋石(serpentine)からなる岩石である。変成岩ないし火成岩中の超塩基性岩のどちらかに分類される。

蛇紋岩(コーリングイト含有)



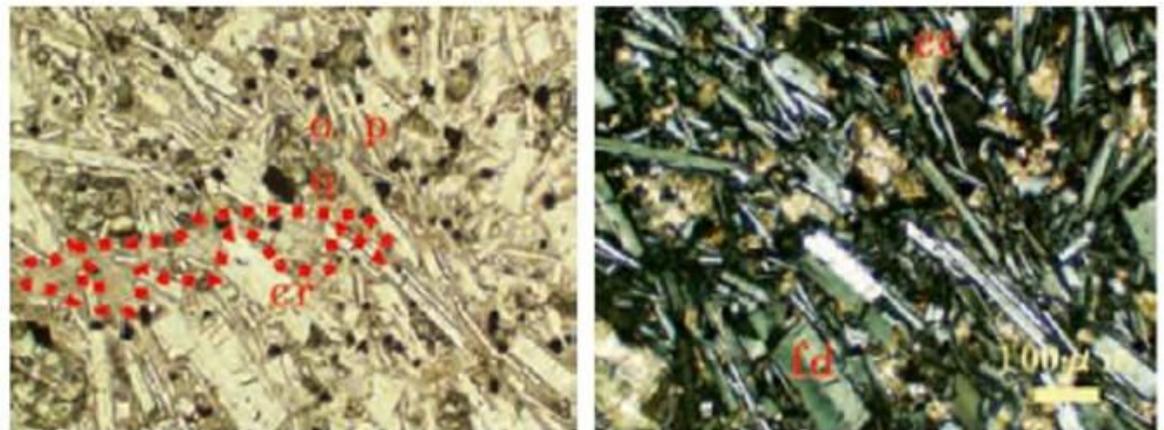
花崗岩(御影石)



花崗岩(かこうがん、英語: granite)とは、火成岩の1種で、流紋岩に対応する成分の深成岩である。

【偏光顕微鏡観察について】

偏光顕微鏡とは偏光を利用した顕微鏡であり、岩石や鉱物の観察をはじめ、広く結晶の光学的性質を調べるために使用される。



輝石安山岩の観察結果の例。クロスニコル(右)では黒く見える部分、オープンニコル(左)では赤い点線で囲まれた部分がクリストバライト

X線回折分析装置 XRD (X-ray Diffractometer)

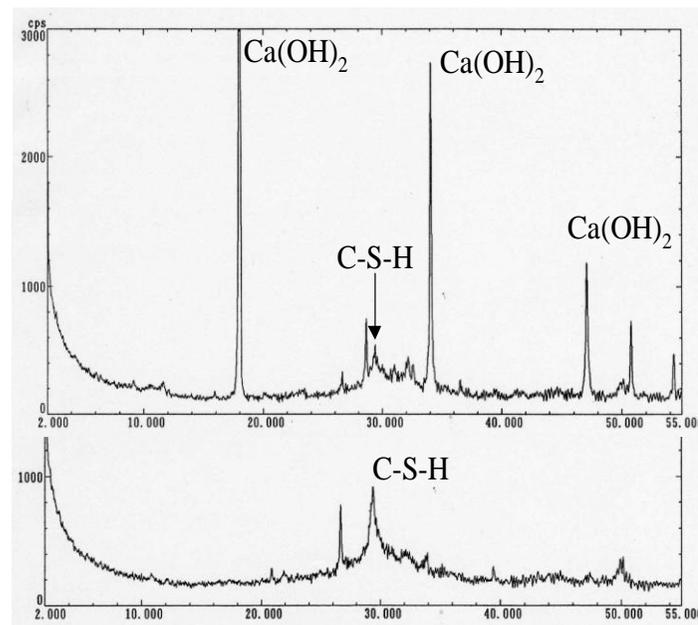
- ・高真空中で金属に熱電子を照射して、特性X線を発生させる。
- ・この特性X線を試料に照射して、試料の格子面で反射したX線の内、干渉によって振幅が大きくなった反射X線を検出する。
- ・回折角(2θ)を連続的に変えて、その時の反射X線の強度を測定することにより、X線回折図を作成する。
- ・得られた回折パターンから結晶物質を同定する。

適用例

- ・セメント水和物, 鉱物, 粘土鉱物などの表面形態の観察
- ・元素分析による構成鉱物の特定



回折強度

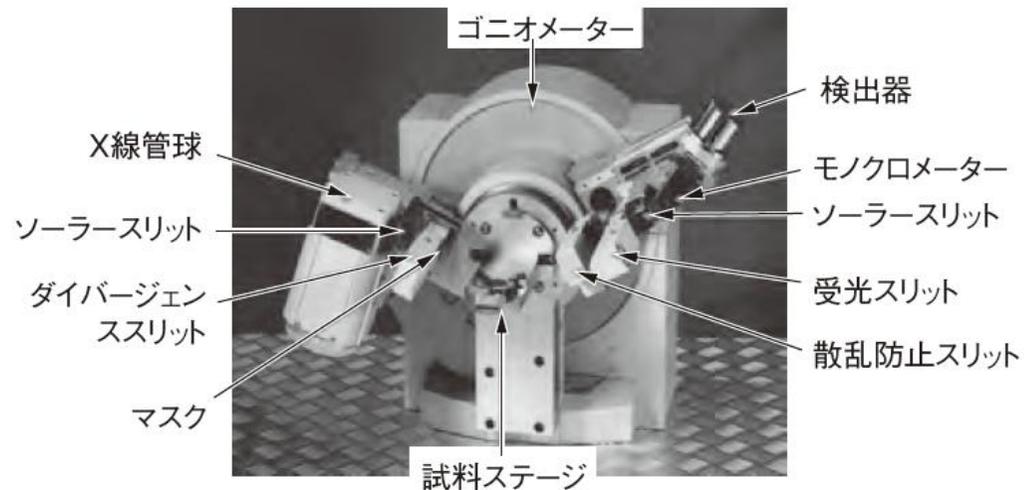
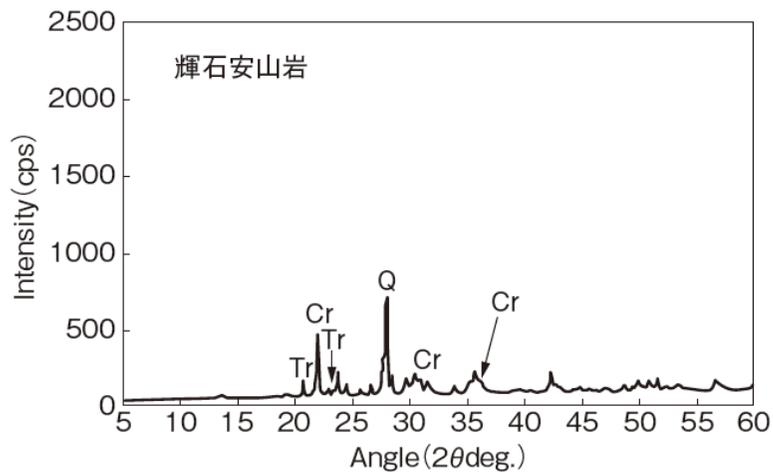
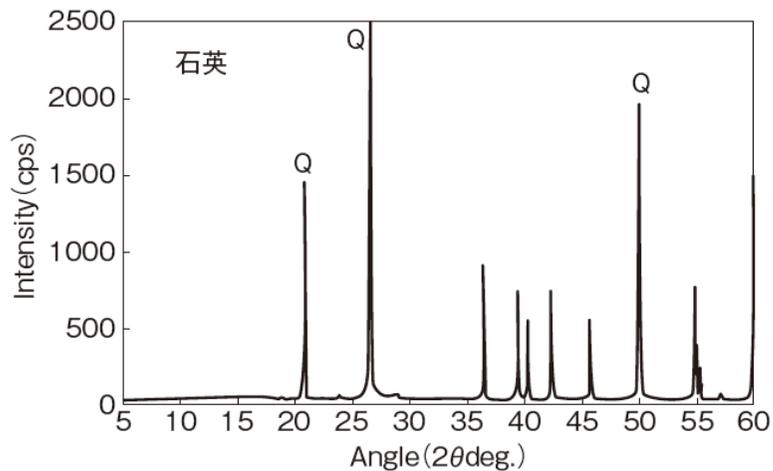


未変質部

Ca溶脱による
変質部

回折角度 2θ (deg.)

X線粉末回折 (X-ray Diffraction, XRD)



X線回折装置の例

X線回折結果の一例：ともにSiO₂を主成分とする石英(上図)と輝石安山岩(下図)の回折結果(XRDチャート)。石英では石英(Q)のみが確認されるのに対し、輝石安山岩では石英とともに、アルカリシリカ反応性鉱物であるクリストバライト(Cr)やトリディマイト(Tr)が確認される

【問題 12】

RC 構造物から採取したコンクリートコア試料を用いた調査について、調査の目的と使用する薬液の組合せ(A)～(C)の適・不適の組合せとして、次の(1)～(4)のうち、適当なものはどれか。

	調査の目的	使用する薬液
(A)	塩化物イオンの浸透深さ	硝酸銀溶液
(B)	配合推定(単位セメント量)	クエン酸ニアンモニウム溶液
(C)	アルカリシリカゲルの識別	グルコン酸ナトリウム溶液

	(A)	(B)	(C)
(1)	適	適	不適
(2)	適	不適	不適
(3)	不適	適	適
(4)	不適	不適	適

問題(12)の解説

正解は、(2)

塩化物イオンの浸透深さの測定では、コンクリートの断面に硝酸銀溶液を噴霧すると、塩化物イオンが含まれる部分は白色に、それ以外の部分は褐色に呈色する。

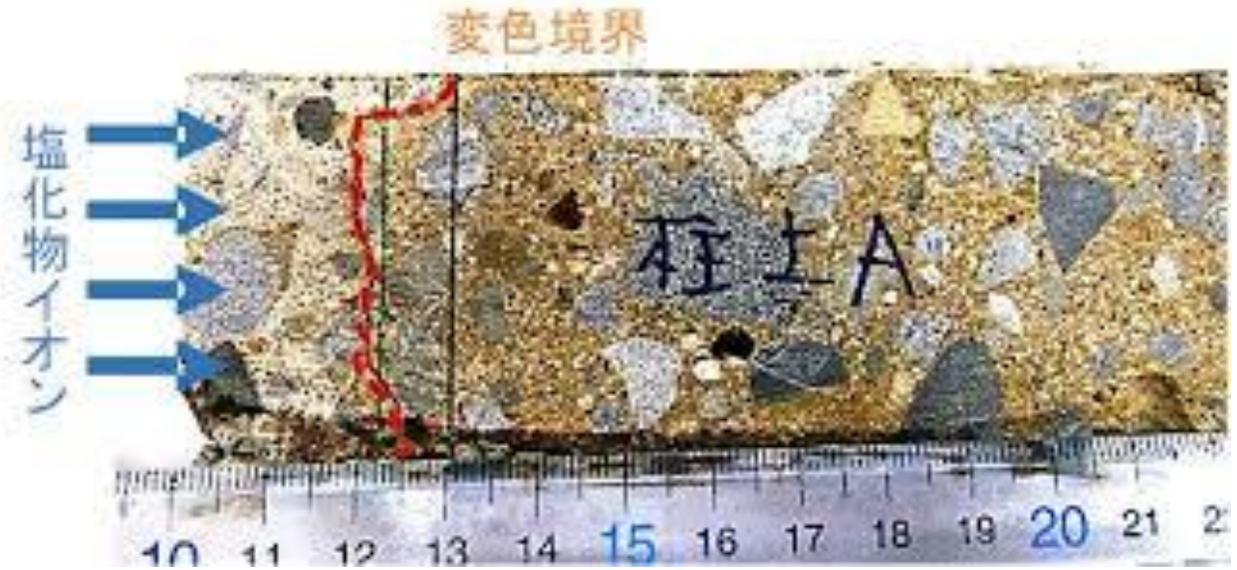
クエン酸二アンモニウム溶液は鋼材の腐食減量を求める際に使用し、配合推定(単位セメント量)には用いない。

アルカリシリカゲルの識別には酢酸ウラニル蛍光法を用いる。グルコン酸ナトリウムは配合推定において単位セメント量を推定するために使用する。

硝酸銀溶液による塩化物イオン浸透深さ試験



硝酸銀溶液噴霧状況



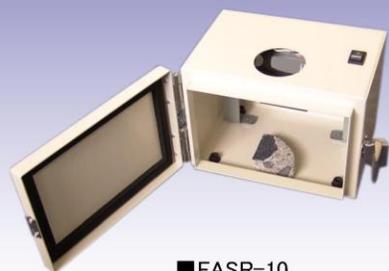
呈色状況(白色範囲に塩化物イオンが存在)

酢酸ウラニル蛍光法の原理に基づくゲルフルオレッセンス法

ゲルフルオレッセンス法により

ASR を簡易診断

～いつでも、誰でも、簡単に、ASR 診断が可能に！～



■FASR-10



■FASR-20

アルカリシリカ反応 (ASR) 簡易診断装置

ASR CHECKER

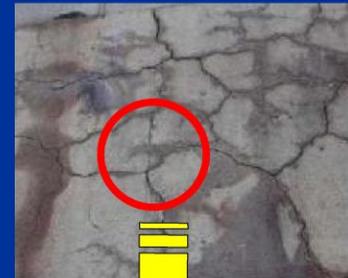
独自開発した判定装置により、アルカリシリカ反応が誰でも簡単に確認できます。

採取したコンクリート片に特殊試薬を塗布して、UV光を照射することにより、アルカリシリカゲルが緑色～青白色に発光します。

付属するデジカメで撮影することにより、報告書データとして活用できます。

いままでASRは分析検査機器で判定されていましたが、簡単に！ 低コスト で判定可能となります。

ASR反応と思われるコンクリート構造物



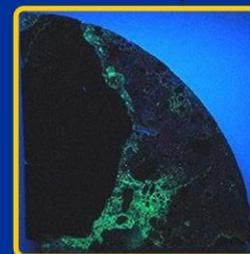
コンクリート採取



試薬噴霧



UV光照射



■ASR反応しているサンプル

【問題 13】

積雪寒冷地に位置する RC 造建築物の外壁(南面)に凍害が生じた。この外壁に対して行う調査方法に関する記述(A)～(C)の適・不適の組合せとして、次の(1)～(4)のうち、適当なものはどれか。

- (A) スケーリング深さを 3次元レーザスキャナにより測定した。
- (B) 浮きの範囲を赤外線サーモグラフィ法により推定した。
- (C) 気泡間隔係数をリニアトラバース法により算出した。

	(A)	(B)	(C)
(1)	適	適	適
(2)	適	不適	適
(3)	不適	不適	適
(4)	不適	適	不適

問題(13)の解説

正解は、(1)

3DレーザースキャナによってRC造建築物の壁面のスケーリング深さを測定できる。

RC造建築物の壁面の浮きは、赤外線サーモグラフィ法で推定が可能である。

コンクリートの凍結融解抵抗性の指標となる気泡間隔係数は、リニアトレーバース法で算出する。

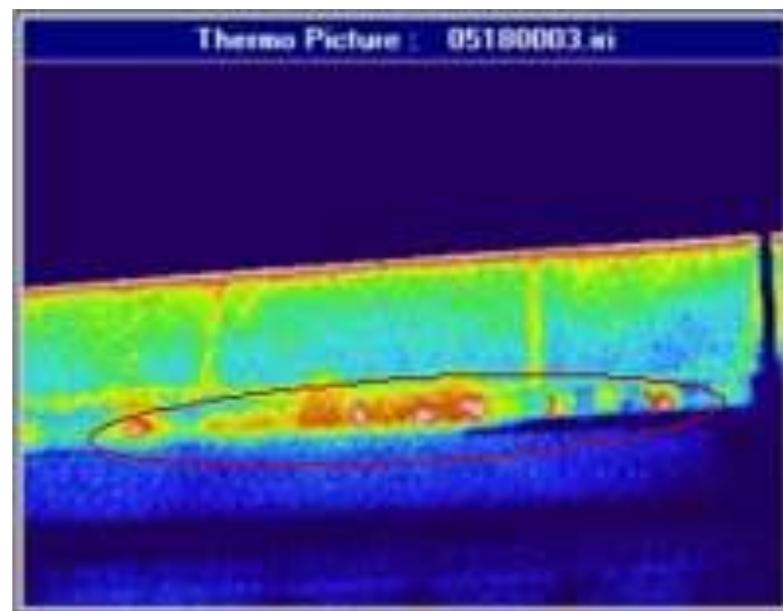
赤外線サーモグラフィ法によるコンクリートの剥離検出

コンクリート表面の温度分布を熱画像処理することで、近接せずにコンクリートの浮きや内部欠陥を検出。

コンクリート健全部と浮き剥離箇所では、熱の蓄え方や伝わり方に差が生じる。その結果、表面の温度分布が異なる。



調査対象(壁高欄)



調査結果

■ 気泡分布

- 硬化コンクリート中の気泡径の分布, 空気量, 気泡間隔係数を測定する。

測定範囲; 10 μ m ~ 数mm

- コンクリート中の気泡部分を実体顕微鏡で入力し, 画像処理装置により解析。
(1試料の測定時間: 10分)



- コンクリート中のエントレンドエアの確認
- コンクリートの凍結融解抵抗性の評価

気泡間隔係数 250 μ m以下であれば
凍結融解抵抗性は良好と判定



【問題 14】

火災を受けたコンクリート構造物の受熱温度を推定するにあたり，使用した化学混和剤の種類が不明であったため，UV スペクトル法と過マンガン酸カリウム法の2つの方法で検量線を作成することとした。検量線の選定に関する次の記述中の(A)～(C)に当てはまる(1)～(4)の語句の組合せのうち，適当なものはどれか。

検量線は，(A)のコンクリートを試料に用いて作成する必要がある。図1はUV スペクトル法，図2は過マンガン酸カリウム法による結果を示している。

UV スペクトル法は，波長 260 nm の UV 光がベンゼン環に(B)されることを利用したもので，リグニン系やナフタレン系の化学混和剤を用いたコンクリートの受熱温度の推定に適した方法である。一方，過マンガン酸カリウム法は，過マンガン酸カリウムに対して化学混和剤が(C)として作用することを利用したもので，ポリカルボン酸系の化学混和剤を用いたコンクリートの受熱温度の推定に適した方法である。

対象とした構造物のコンクリートでは，図1では相関関係が認められなかったが，図2では200℃以上で負の相関が認められたことから，過マンガン酸カリウム法により得られた検量線を受熱温度の推定に用いた。

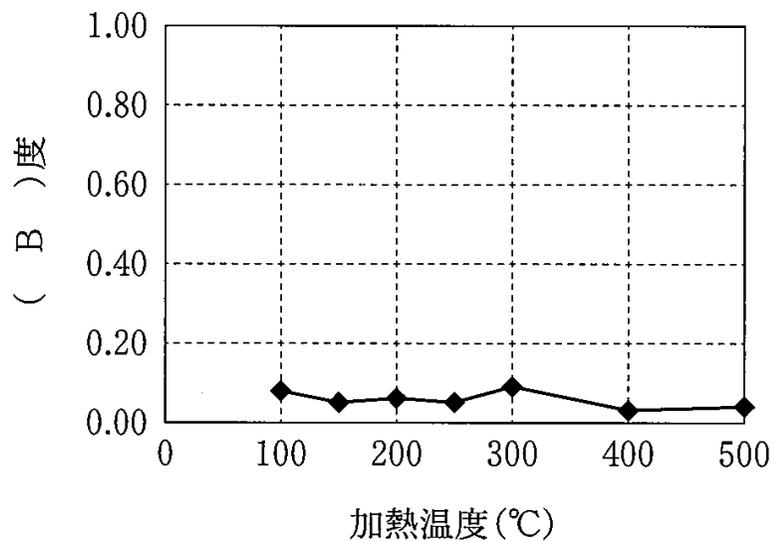


図1 UV スペクトル法の検量線

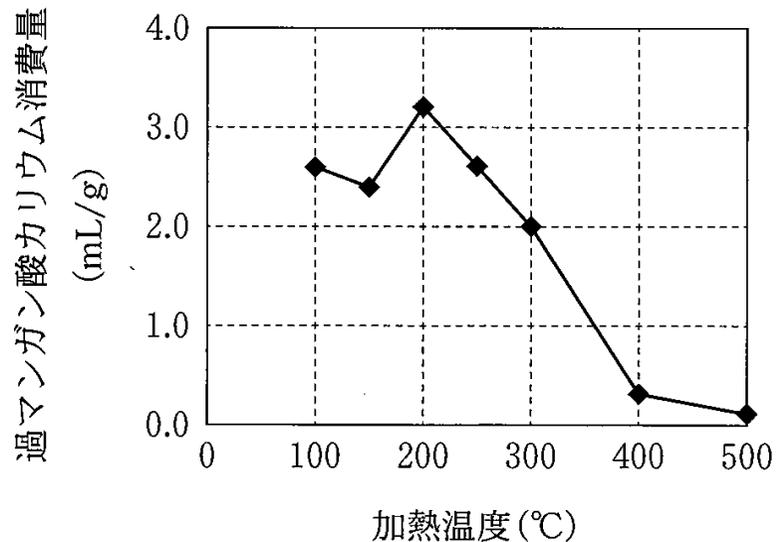


図2 過マンガン酸カリウム法の検量線

	(A)	(B)	(C)
(1)	健全部	反射	酸化剤
(2)	火害部	吸光	酸化剤
(3)	健全部	吸光	還元剤
(4)	火害部	反射	還元剤

問題(14)の解説

正解は、(3)

受熱温度の推定にはUVスペクトル法または過マンガン酸カリウム法を適用する。コンクリートに含まれる化学混和剤の濃度が受熱温度に応じて減少する現象を利用する。

UVスペクトル法は、リグニン系やナフタレン系の化学混和剤を使用したコンクリートに適用可能で、**健全部**のコンクリートを加熱して作成した検量線(受熱温度と**吸光度**)から、火害部の受熱温度を推定する。

過マンガン酸カリウム法は、ポリカルボン酸系を含む多くの化学混和剤に適用可能である。化学混和剤は**還元剤**として作用する。過マンガン酸カリウムの消費量と化学混和剤濃度には相関があり、検量線から火害部の受熱温度を推定できる。

UV吸収スペクトル法

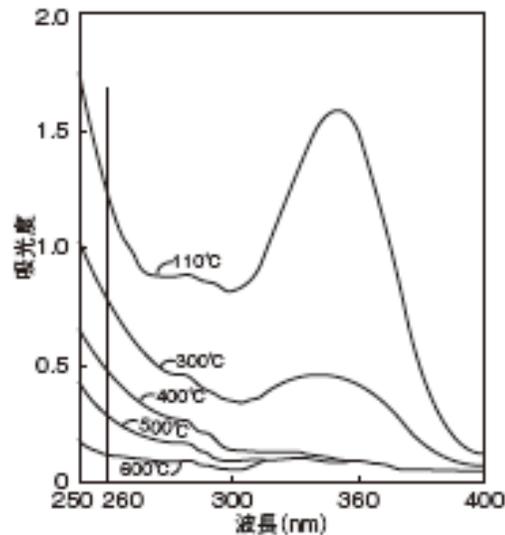


紫外可視近赤外分光光度計

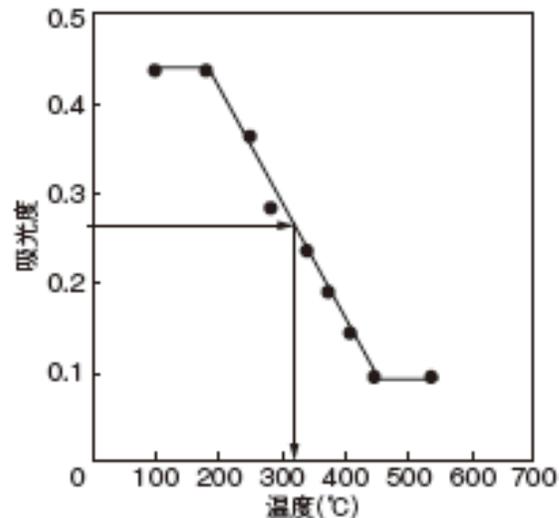
可視紫外線吸収スペクトル法は、可視紫外線分光光度計を用いて、硬化コンクリート中の化学混和剤の定量を行う方法

調査対象の健全部のコンクリートを用いて、異なった温度に加熱した試料の分析結果から検量線を作成

●コンクリートのUVスペクトル測定例
(加熱温度による吸光度の相違)



●吸光度と受熱温度の検量線例
(試料の吸光度から受熱温度を推定)



火災時の受熱温度を推定する方法

- キーワード25 火害
- キーワード76 示差熱重量分析
- キーワード92 粉末X線回折
- キーワード96 UVスペクトル法
- キーワード97 過マンガン酸カリウムによる
火害の推定方法
- その他の方法: 化学的酸素要求量(COD)

【問題 15】

道路トンネルの覆工コンクリート(設計巻き厚 30 cm)の調査項目および方法に関する記述 (A)～(C)の適・不適の組合せとして、次の(1)～(4)のうち、適当なものはどれか。

- (A) ひび割れ，漏水，剥落の状況をレーザによる連続走査画像検査法により調べた。
- (B) 背面空洞の有無を衝撃弾性波法で調べた。
- (C) 天端の沈下と水平変位を AE(アコースティック・エミッション)法で調べた。

	(A)	(B)	(C)
(1)	適	適	不適
(2)	不適	適	適
(3)	適	不適	適
(4)	不適	不適	不適

問題(15)の解説

正解は、(1)

レーザによる連続走査画像検査法によって、ひびわれ、漏水、浮き、剥落などを把握することは可能であるので、**適**。

衝撃弾性波法は、インパクトハンマを用いてコンクリート構造物に衝撃を与え、振動センサなどの受信子を用いてコンクリートや構造物内部を調査する非破壊試験法であるので、**適**。

AE(アコースティック・エミッション)法は、コンクリート構造物中で起こる局所的な破壊で生じる弾性波を計測し、コンクリート構造物の状態や健全性を診断する方法で、沈下や変位は測定できないので、**不適**。

走査画像検索

レーザー弾性波源走査法による損傷画像化技術

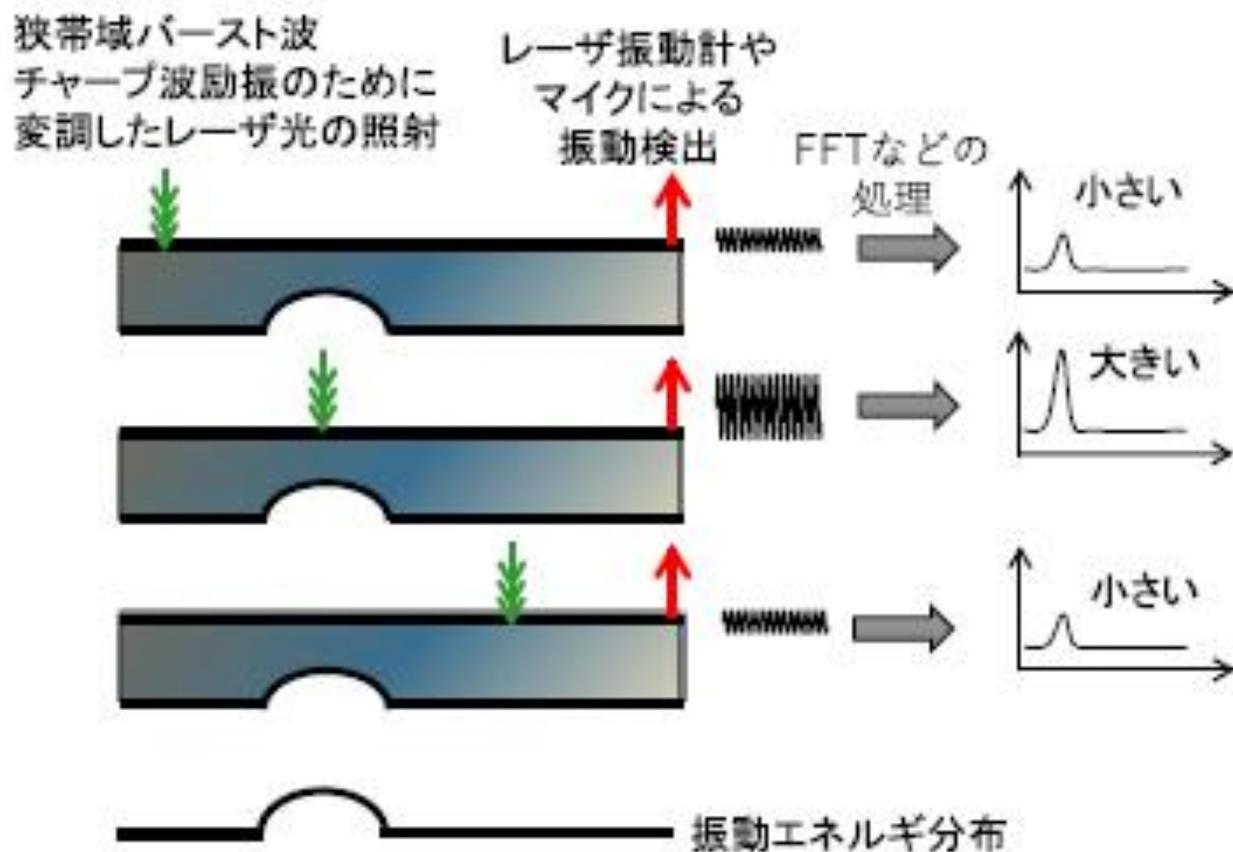
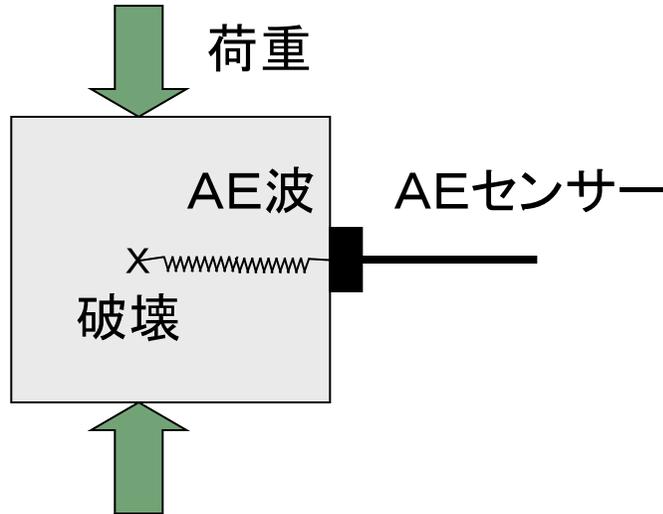


図-1 損傷画像化の原理概要

衝撃弾性波法の調査対象

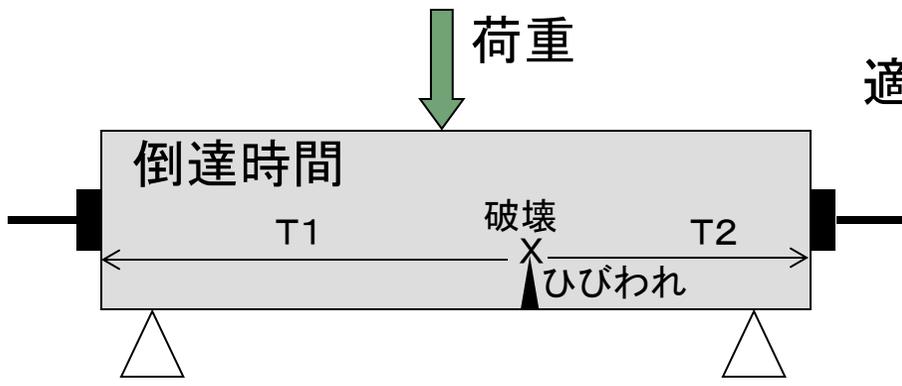
測定対象	打音法	衝撃弾性波法	超音波法
強度推定	○	○	○
内部空隙、浮き、剥離	○	○	○
ひび割れ深さ		○	○
部材厚さ		○	○
グラウト充填性		○	

■ AE法 (アコースティックエミッション法)



方法.....外から与えた力に対して, 材料中に発生する微小破壊音(高周波弾性波, AE)を受信しひび割れ, 空隙等の内部欠陥の進展を推定する。

複数のセンサに到達する音の到達時間差により, 破壊位置を推定



適用例...①実構造物での適用は未確認
②ひび割れ位置推定のモニタリングに可能性あり

【問題 16】

図に示すように、ポストテンション方式 PC 箱桁のウェブ表面から衝撃弾性波法によってグラウト充填状況を調査する。この方法に関する次の記述中の(A)～(C)に当てはまる(1)～(4)の数値の組合せのうち、適当なものはどれか。

ただし、コンクリート中の弾性波の伝搬速度は 4 000 m/s とする。

鋼製シース内部にグラウトが充填されていると、鋼球打撃により入力された弾性波は、下図に示す面①と面②との間で反射を繰り返し、共振周波数 f_1 は(A)kHz となる。一方、グラウトが未充填の場合、共振周波数 f_1 に加えて、図に示す面①と未充填箇所の間でも共振するため、共振周波数 f_2 が(B)kHz の波も出現する。両者の共振現象を確認することで、グラウト充填の有無を把握することができる。ただし、適切に評価を行うためには、入力される弾性波の上限周波数が、共振周波数 f_1 および f_2 を上回っている必要がある。

一般的に、鋼球打撃により入力される弾性波の上限周波数 f_{\max} (kHz)は、次式から算出できる。

$$f_{\max} = 1.25/T_c$$

ただし、 T_c ：接触時間(ms)である。また、 T_c は、次式で求められる。

$$T_c = 0.0043 D$$

ただし、 D ：鋼球直径(mm)である。

以上のことから、今回のグラウト充填状況の調査において、直径(C)mm の鋼球を選定した。

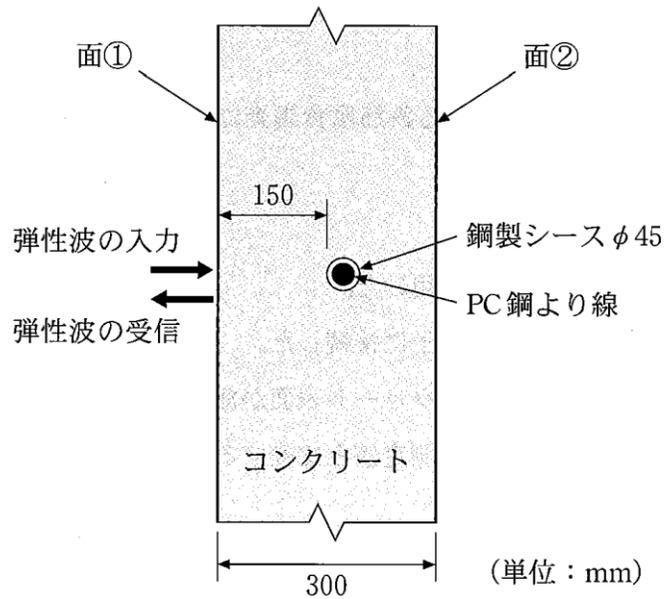


図 PC箱桁のウェブの断面図

	(A)	(B)	(C)
(1)	13.3	26.6	25
(2)	6.67	13.3	25
(3)	6.67	13.3	15
(4)	13.3	26.6	15

問題(16)の解説

正解は、(3)

衝撃弾性波法によってグラウトの充填状況を調査する方法に関する出題である。

グラウトが充填されている場合の共振周波数 f_1 は $4000(\text{m/s}) \div (300(\text{mm}) \times 2) = 6.67\text{kHz}$ 、グラウトが未充填の場合の共振周波数 f_2 は、 $4000(\text{m/s}) \div (150(\text{mm}) \times 2) = 13.3\text{kHz}$ となる。

よって、(A)には、6.67 (B)には、13.3 が入る

鋼球の直径 D の条件は、問題で与えられた式に T_c を代入して計算する。上限周波数はグラウトの充填または未充填の場合の共振周波数よりも大きくなければならないので、 $1.25 \div 0.0043D > f_2$ となる。直径 D は、 $1.25 \div 0.0043f_2 > D$ の条件となる。 $21.8 > D$ なので、鋼球の直径は15mmとなる。

【問題 17】

電磁波レーダ法によるコンクリート構造物の調査に関する次の記述中の(A)～(C)に当てはまる(1)～(4)の語句の組合せのうち、適当なものはどれか。

コンクリート中を伝搬する電磁波は、比誘電率の異なる物質の境界面で反射する。比誘電率の大きい物体から小さい物体へ電磁波が入射すると、入射波と(A)の反射が生じる。一方、比誘電率の小さい物体から大きい物体へ電磁波が入射すると、入射波と(B)の反射が生じる。この電磁波の特徴を参考にすれば、入射波と逆位相の反射波が確認できた場合、対象物は(C)であると推定できる。

	(A)	(B)	(C)
(1)	逆位相	同位相	鉄筋
(2)	逆位相	同位相	空洞
(3)	同位相	逆位相	空洞
(4)	同位相	逆位相	鉄筋

電磁波(電磁界)とは

電流や磁気の方角や強さが変化すると、電界と磁界がお互いに影響し、遠くに波のように伝わる現象が発生する。この波を電磁波といい、波の伝わる場所を電磁界という。

電磁波は、波長(あるいは周波数)に応じて様々な種類がある。この波長(種類)と波の大きさ(強さ)によって、性質異なり、目的の応じて使い分けられる。

電磁波の種類

温熱効果のある赤外線	波長約0.1mm
水分を温める電子レンジ	波長約10cm
携帯電話	波長約10cm
テレビ放送	波長約1~10m
ラジオ放送	波長約10m~1km

誘電率・比誘電率について

誘電率(比誘電率)とは、気体、液体、個体を問わず、絶縁性物質の持つ基本的な電氣的定数である。

各物質は、固有の誘電率を持ち、誘電率の値は、外部から電場を与えたとき各物質の中に存在している電子がどのように応答するかによって決まる。

真空では、誘電率は1.0(「空気の場合は約1.0)、水の場合は、約80の誘電率

比誘電率とは、誘電率 ϵ と真空の誘電率 ϵ_0 の比を意味する。

$$\text{比誘電率 } \epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$$

電磁波レーダ法とは

電磁波レーダ法探査では、電磁波により比誘電率の違いを探査する方法

電磁波レーダの周波数を高くすれば分解能が高くなり精度も向上する。

しかし、測定可能は深度が浅くなる。

空気	1
コンクリート(乾燥状態)	4~12
コンクリート(湿潤状態)	8~20
水	80
鉄筋	無限大

(つまり、鉄筋は把握しやすいが、空洞は正確には把握しにくい。)

【電磁波レーダ法について】

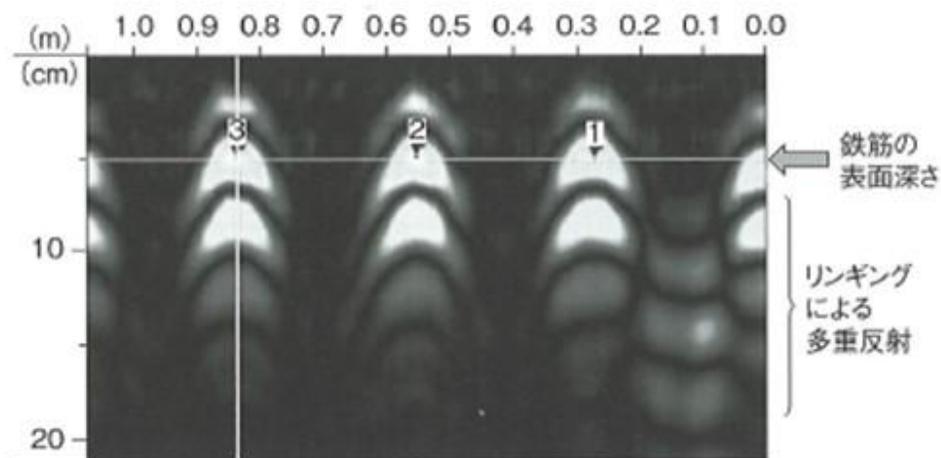


電磁波レーダ法は鉄筋探査法のひとつで、コンクリート内部の探査を目的とする非破壊検査法。

コンクリート中の鉄筋位置やかぶりの他に、内部空隙や異物の有無とその位置、コンクリート背面の空洞などを探査することが可能。



電磁波レーダ法の測定に用いる装置の例



電磁波レーダ法の測定結果の例(4ページ参照)

問題(17)の解説

正解は、(4)

電磁波は、比誘電率の小さい物質から大きな物質へ、例えば空洞からコンクリート、またはコンクリートから鉄筋に入射する場合、反射波の位相が反転する。

比誘電率の大きい物質から小さな物質に伝搬する場合、反射波の位相は反転しない。この特徴を参考にすれば、逆位相の反射波が確認できると、対象物は鉄筋だと推定できる。

(A)に同位相、(B)に逆位相、(C)に鉄筋が入る。

【問題 18】

RC 構造物における自然電位法による鉄筋腐食調査に関する次の(1)～(4)の記述のうち、不適当なものはどれか。

- (1) 入力抵抗が十分小さい電圧計を用いた。
- (2) 鉄筋を直流電位差計のプラス端子に接続した。
- (3) 散水により湿潤状態としたコンクリート表面が測定中に乾燥したため、再度散水した。
- (4) 異なる種類の照合電極を用いた測定値と比較するため、電位の測定値を補正した。

問題(18)の解説

正解は、(1)

自然電位の測定では、入力インピーダンスが $100\text{M}\Omega$ よりも大きな電位差計と照合電極を使用する。

電位差計のプラスの端子を鉄筋に、マイナスの端子を照合電極に結線し、十分に散水したコンクリート表面の鉄筋直上に照合電極を接触させて電位を測定する。

電位差計のインピーダンスが小さい場合、電位差計に腐食電流が流れるため、正確な自然電位が測定できない。

自然電位法による鉄筋腐食診断

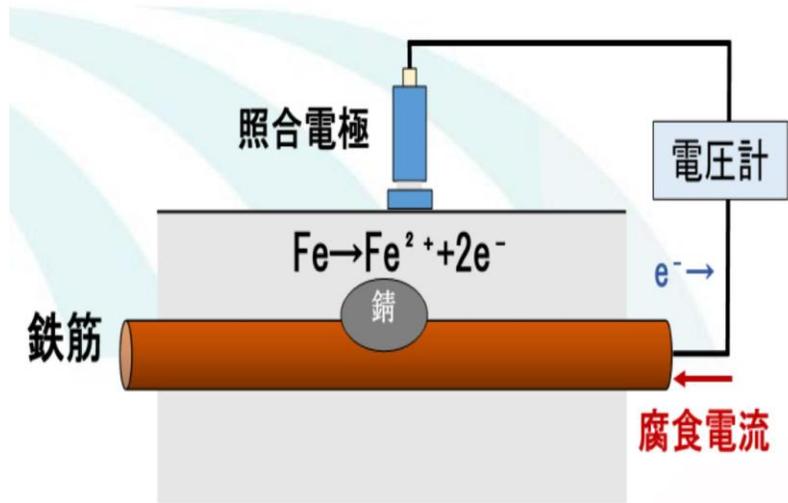


図-1. 測定原理



写真-1. 自然電位測定器

表-1. ASTM C 876 による鋼材腐食性評価

自然電位(E)(V vs CSE)	鋼材腐食の可能性
$-0.20 < E$	90%以上の確率で腐食なし
$-0.35 < E \leq -0.20$	不確定
$E \leq -0.35$	90%以上の確率で腐食あり

表-2. CSE 換算式

使用した照合電極	CSE 電極に対する 自然電位(E_{CSE})への換算式
飽和硫酸銅電極(CSE)	$E_{CSE} = E_{CSE}$
飽和塩化銀電極(SSE)	$E_{CSE} = E_{SSE} - 120 - 2.00(t - 25)$
鉛電極(PRE)	$E_{CSE} = E_{PRE} - 800 + 0.24(t - 25)$
飽和カロメル電極(SCE)	$E_{CSE} = E_{SHE} - 74.5 - 1.66(t - 25)$