

解答と解説

日本コンクリート工学会が公表した解答に、著者らが解説を加えた。

[問題 1] … 正解 (1)

- (A) 豆板 (ジャンカ) は、コンクリートを打ち込むときの材料分離、締固め不足、型枠下面からのセメントペーストの漏れなどによって生じ、材料分離は打込み時の自由落下高さが高いほど生じやすいので、施工条件としてはイが適当である。
- (B) コールドジョイントは、前に打ち込まれたコンクリートの硬化 (凝結) 程度によって生じ、打重ね時間間隔が長いほど生じやすいので、施工条件としてはエが適当である。
- (C) 表面気泡は、コンクリート中の余剰水や空気泡が締固めの際、型枠表面を伝わって排出されるため生じる。締固め不足や打込み速度が速いほど表面気泡を生じやすいので、施工条件としてはウが適当である。
- (D) プラスティック収縮ひび割れは、コンクリート表面の急激な乾燥によって生じ、コンクリート表面の養生条件によって影響を受けるので、施工条件としてはアが適当である。

以上のことから、(1) が適当である。

[問題 2] … 正解 (4)

コンクリートの沈降によるひび割れは、ブリーディングなどによってコンクリートが沈降する際、水平鉄筋、セパレータや埋込みボックスなどコンクリート中に動かないものが存在する箇所や、梁に沿ったスラブの端部に発生しやすいので、(1) ~ (3) はコンクリートの沈降によるひび割れと考えられる。(4) は、ボックスカルバートの床版部の拘束の影響で側壁部に発生したひび割れであると思われるので、セメントの水和に起因する温度ひび割れあるいは乾燥収縮ひび割れと考えるのが適当である。

[問題 3] … 正解 (2)

自己収縮は、外部からの水の供給がなくセメントペーストの骨格が形成された後、セメントの水和反応によりペースト中の水分が消費されるためにコンクリートが収縮する現象である。自己収縮量は、水セメント比が小さいほど、セメント中の化学組成である C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) の含有量が多いほど、結合材量が多いほど、結合材の比表面積が大きいほど、それぞれ大きくなる。(2) が適当である。

[問題 4] … 正解 (2)

エフロレッセンスは、セメントの水和物である水酸化カルシウム [$Ca(OH)_2$] やセメント中のアルカリ分 [Na, K] が、水の移動とともにコンクリート表面で空気中の炭酸ガスと反応して生成した炭酸塩 [$CaCO_3, Na_2CO_3, K_2CO_3$] のことで、前者はカルシウムエフロレッセンス、後者はアルカリエフロレッセンスに大別される。また、基礎コンクリートや橋脚などの地表面に近い部分などでは、土壤中から湿分が供給され、場合によっては硫酸塩を含むエフロレッセンス [$CaSO_4, Na_2SO_4, K_2SO_4$] も発生する。(2) が適当である。

[問題 5] … 正解 (3)

- (1) 中性化速度は、炭酸ガス濃度の影響を受けるが、濃度が2倍になっても、中性化速度は2倍にはならないので、不適当である。
- (2) 中性化速度は、温度が高いほど大きくなるが、湿度の影響ほど顕著でない。温度が20~30℃では中性化速度は最大にならないので、不適当である。
- (3) セメント中のアルカリ含有量が多くなるほど、次ページの図に示すように、中性化速度は大きくなるので、適当である。
- (4) コンクリートの中性化速度係数は、次式¹⁾で表される。

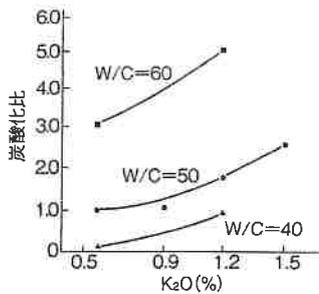


図 セメント中のアルカリと炭酸化深さ
(中性化深さ) との関係

(出典：長滝重義・大賀宏行・荒井俊晴「高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの中酸化」高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム論文集, pp.143-150, 1987.3)

$$a_p = -3.57 + 9.0W / (C_p + k \cdot A_d)$$

a_p : 中性化速度係数 (mm/√t)

W : 単位体積あたりの水の質量

B : 単位体積あたりの有効結合材の質量

C_p : 単位体積あたりのポルトランドセメントの質量

A_d : 単位体積あたりの混和材の質量

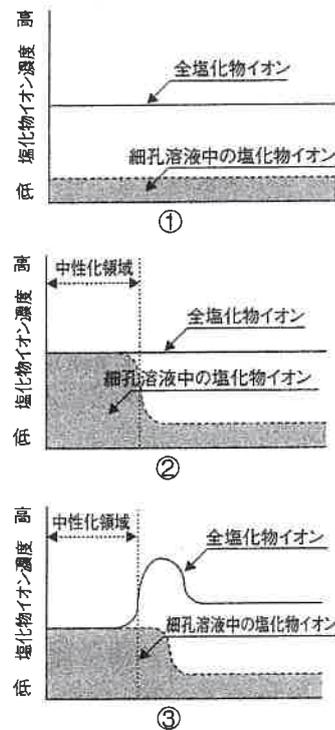
k : 混和材の種類により定まる定数

1) : コンクリート標準示方書 (2007) [設計編]
フライアッシュの場合 $k=0$, 高炉スラグ微粉末の場合 $k=0.7$ であるので, 同一混和材量, 同一単位水量であれば有効水結合材比 [$W / (C_p + k \cdot A_d)$] は, 高炉スラグ微粉末の方が小さくなる。そのため, 中性化速度係数は, 高炉スラグ微粉末を用いた方がフライアッシュを用いた場合より小さくなるので, 不適当である。

[問題 6] … 正解 (1)

内在塩分を含むコンクリート中の塩化物イオンの濃縮現象は, 以下のような概念で進行する。

- ① 中性化を生じるまでは, フリーデル氏塩や細孔溶液中の Cl^- は一様に分布する。
 - ② 中性化により中性化域のフリーデル氏塩が分解し, Cl^- が細孔溶液中に溶出する。
 - ③ 濃度拡散により, 中性化域の細孔溶液中の Cl^- が内部へ移動する。
- ①から③の概念図を示すと次のようになり, (1) が適当である。



[問題 7] … 正解 (3)

コンクリート中の鋼材の腐食速度は, 鋼材の電気化学的反応とともに, 鋼材に対する酸素の供給量, すなわち, コンクリート中の酸素の移動やコンクリートの抵抗に大きく関係する。鋼材の腐食は, 塩化物イオンが存在すると鋼材の不動態皮膜が塩化物イオンにより破壊されることで開始する。塩化物イオン (Cl^-) はアノード (陽極) に, 酸素イオン (O^{2+}) はカソード (陰極) に大きく影響し, マクロセル腐食反応が進行する。マクロセル腐食反応は, ミクロセル腐食反応に比較してアノード反応とカソード反応が離れた位置で起きるので, アノード (陽極) 部とカソード (陰極) 部とのコンクリートの電気抵抗の影響を受ける。

以上のようなことから, (3) が適当である。

[問題 8] … 正解 (4)

- (1) コンクリートの飽水度が高いほど凍害を受けやすいが, 80% 以下では凍害を生じにくいので, 適当である。
- (2) 粗骨材の吸水率が大きいほど凍害を生じやすいので, 適当である。

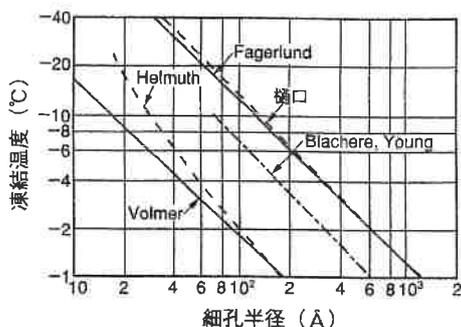


図 細孔中の水の凍結温度

(出典：洪悦郎，鎌田英治「コンクリートの凍害と細孔構造」セラミックス，1975.10)

- (3) 凍結防止剤を散布すると氷点が低下するため，凍害を受けた際，スケーリングを生じやすいので，適当である。
- (4) 細孔中の水の凍結温度は，細孔半径が大きいほど高くなるので，同一空気量であっても気泡径の分布の影響を受けるので，不適当である。

[問題 9] … 正解 (1)

ナトリウム，カルシウム，マグネシウムなどのアルカリ硫酸塩は，セメント中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と反応して二水せっこうを生成する。さらにセメント中の C_3A と反応して針状結晶のエトリンガイトを生成して著しい膨張を引き起こし，コンクリート組織を崩壊させていく。

炭酸と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が反応すると難溶性の炭酸カルシウム (CaCO_3) を生成し，さらに炭酸水素カルシウムになり，コンクリート中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が溶脱し，侵食されていく。(1) が適当である。

[問題 10] … 正解 (3)

- (1) 疲労寿命と上限応力比や下限応力比との関係式¹⁾は，以下の通りである。

$$\text{Log}N = 17(1 - S_{max}) / (1 - S_{min})$$

N : 疲労寿命，

S_{max} : 最大応力と静的強度の比，

S_{min} : 最小応力と静的強度の比

上式に， $N = 200 \times 10^4$ ， $S_{min} = 0.1$ を代入し， S_{max} を求めると， $S_{max} = 0.67$ となり，

静的強度の 60～70% の範囲であるので，適当である。

- 1) : コンクリート標準示方書 (2007) [設計編]
- (2) コンクリートの疲労強度は，水中と気中で比較すると，水中で繰返し荷重を受けた方が気中の 2/3 程度であるので，適当である。
- (3) 上限応力比と下限応力比が同一条件であれば，載荷速度が小さいほどクリープの影響を受け，疲労強度は小さくなるので，不適当である。
- (4) 圧縮強度が同じ場合，軽量コンクリートの疲労強度は普通コンクリートの 2/3 程度であるので，適当である。

[問題 11] … 正解 (3)

- (1) アの位置は受熱温度が 600°C に達しており，ミクロ的には微細なひび割れも発生しているため水密性は火災前より劣るので，不適当である。
- (2) アの位置は受熱温度が 600°C に達しており，圧縮強度は 50% 以下になるので，不適当である。
- (3) イの位置は受熱温度が 300°C に達しているが，鉄筋の引張強度は 500°C 以下であれば影響が少ないので，適当である。
- (4) イの位置は受熱温度が 300°C に達しており，弾性係数の低下は圧縮強度に比べて低い受熱温度でも起こるので，不適当である。

[問題 12] … 正解 (1)

- (1) コア供試体の直径は，一般に粗骨材の最大寸法の 3 倍以下としてはならないので，不適当である。
- (2) コア供試体の端面とコア軸とのなす角度は， $90 \pm 0.5^\circ$ になるように整形するので，適当である。
- (3) 圧縮強度試験の載荷速度は，JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に記載されている通り，毎秒 $0.6 \pm 0.4 \text{ N/mm}^2$ であるので，適当である。

(4) コア供試体の高さとの比が1.90より小さい場合は、試験で得られた圧縮強度に補正係数を乗じて直径の2倍の高さをもつ供試体の強度に換算して低下させるので、適当である。

[問題 13] … 正解 (2)

当初の測定結果から反発度の平均値を算出すると40となり、偏差が平均値の20%以上(32以下, 48以上)になる測定値48を削除する。

次に、追加測定値27を入れて反発度の平均値を算出すると38となり、偏差が平均値の20%以上(30以下, 46以上)になる測定値27を削除する。

次に、追加測定値30を入れて反発度の平均値を算出すると38となり、偏差が平均値の20%以上(30以下, 46以上)になる測定値30を削除する。

次に、追加測定値40を入れて反発度の平均値を算出すると39となり、全ての測定値は偏差が平均値の20%以内(31～47)となる。

(2) が適当である。

[問題 14] … 正解 (2)

アルカリシリカ反応により劣化したコンクリート構造物で鉄筋破断を生じた事例は、柱の帯鉄筋やはりのスターラップなどの曲げ加工された箇所に多く発生している。

(ア) の部分は、ひび割れ幅が2 mmと大きく、橋脚の帯鉄筋が曲げ加工されているので、鉄筋破断する可能性がある。

(イ) の部分は、ひび割れ幅が0.5 mm程度であること、はり部のスターラップも張出し部に比較して少ないことから、鉄筋破断の可能性は小さい。

(ウ) の部分は、ひび割れ幅が5 mmと大きく、はり部のスターラップが曲げ加工されている部分であるので、鉄筋破断する可能性がある。

(エ) の部分は、ひび割れ幅が0.5 mm程度の網目状ひび割れであるので、鉄筋破断す

る可能性は小さい。

以上のことから、(2) が適当である。

[問題 15] … 正解 (2)

鉄筋コンクリートにおいて、鉄筋が腐食すると自然電位は卑(-)側に動く。5年で腐食が発生し、自然電位が卑側に大きく変化したのは(2)、(4)であるが、その後も腐食反応が継続して自然電位が卑側にさらに変化しているのは(2)である。よって、(2) が適当である。

[問題 16] … 正解 (1)

(1) 全塩化物イオン量の測定のため、試料から全塩化物を溶解させる際に用いる溶液は、硝酸溶液であり、クエン酸水溶液ではない。

(2) 可溶性塩化物イオン量の測定のため、試料から可溶性塩化物を抽出する際に用いるのは50℃の温水である。

(3) 塩化物イオン量の定量には、電位差滴定法が用いられる。

(4) 塩化物イオン量の定量には、イオンクロマトグラフ法が用いられる。

[問題 17] … 正解 (2)

種類の異なる2本の金属線を接合して閉回路を作り、2つの接合点に温度差を与えると回路に起電力が生じて電流が流れる。熱起電力は2つの金属線の種類と両端の接合点の温度だけで定まる。銅とコンスタントンは-200～400℃で、白金と白金ロジウムは100～1,600℃で使用可能である。

[問題 18] … 正解 (4)

鉄筋位置の測定には、電磁波レーダ法は適用できるが、AE法、超音波法、サーモグラフィ法は適用できない。コンクリートのひび割れ深さの測定には、超音波法が適用できる。電磁波レーダ法は空洞調査には用いられるが、ひび割れの検出にはあまり適していない。サーモグラフィ法、AE法では、ひび割れ深さ

の測定はできない。従って、電磁波レーダ法と超音波法の組合せが適当となる。

[問題 19] … 正解 (4)

JIS A 1152によると、

- (A) ドライヤなどで測定面を乾燥させると、呈色した部分が安定するので、正しい。
- (B) 鮮明な赤紫色の部分までの距離を、中性化深さとして測定するので、正しい。
- (C) 粗骨材粒子の両端の中性化位置を結んだ直線上で、中性化深さを測定するので、正しい。

[問題 20] … 正解 (3)

- (1) 成分溶出により組織の空疎化が起こり、ビッカース硬さは低下する。
- (2) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の溶出により、 Ca/Si モル比が変化する。
- (3) 骨材の安定性試験における損失質量分率は、成分溶出には関係しない。
- (4) 水の硬度が小さいほど、溶存炭酸濃度が大きいほど、溶出は促進される。
従って、調査・測定項目として不適当なものは (3) である。

[問題 21] … 正解 (2)

1年間の腐食量を求めるには、年間の平均化された腐食電流密度が必要である。

年間の平均化された腐食電流密度を、平均化された分極抵抗値から算出する。

平均化された分極抵抗

$$R_p = (60 + 44) \div 2 = 52 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2,$$

$$\text{腐食電流密度 } i_{\text{cor}} = K \cdot (1/R_p) \text{ となり,}$$

$$K = 0.026 \text{ V から,}$$

$$i_{\text{cor}} = 0.026 \text{ V} \div (52 \times 1000 \Omega \cdot \text{cm}^2)$$

$$= 0.5 \times 10^{-6} \text{ V} / (\Omega \cdot \text{cm}^2)$$

$$= 0.5 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2 \text{ となる。}$$

以上より、腐食電流密度 1.0 A/cm^2 に相当する鉄の腐食速度 $9.1 \text{ kg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{年})$ から、1年間の腐食量を以下の通り算出する。

$$0.5 \times 10^{-6} \div 1.0 \times 9.1 \times 1000 \text{ g/cm}^2$$

$$= 4.55 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^2 = 4.55 \text{ mg/cm}^2$$

[問題 22] … 正解 (1)

- (1) 橋台に見られるひび割れは、アルカリシリカ反応の膨張によるものである。
- (2) RC床版が繰り返し荷重を受けて、ひび割れが生じたものである。
- (3) 雨水等によりコンクリートから溶出した析出物がスラブの継目に集まり、乾燥固化しているエフロレッセンスである。
- (4) トンネル覆工コンクリート目地部における背面からの漏水による現象である。

[問題 23] … 正解 (2)

アルカリシリカ反応によるひび割れは、鉄筋あるいはプレストレス導入により拘束された方向に直交しては発生しにくい。つまり、鉄筋の方向あるいはプレストレス導入方向に平行な方向にひび割れは発生する。従って、(2)が適当である。

[問題 24] … 正解 (4)

凍害を防ぐためには、コンクリートの気泡間隔係数を $250 \mu\text{m}$ 程度以下にすることが望ましく、写真のケースは $500 \mu\text{m}$ と見られる。ポップアウトは、骨材中の軟石によるものと見られる。また、日射量が少なく、温度変化が少ない方が凍害は受けにくいので、劣化が著しい部分は排水勾配が不適切で水が溜まり、凍害が著しく現れたと見られる。

[問題 25] … 正解 (3)

下水道関連施設では、下水中あるいは汚泥中に含まれる硫酸イオンが、嫌気性環境において硫酸塩還元細菌の作用で硫化水素ガスに変化し、生成された硫化水素ガスは、コンクリート表面の結露水などに溶解し、好気性環境においてイオウ酸化細菌によって硫酸に変化し、コンクリートを侵食する。常時、水中にある部分は、コンクリートの劣化が少なく鉄筋腐食の可能性も低い。従って、適当なものは (3) である。

[問題 26] … 正解 (2)

写真に示された損傷部から判断して、はり、柱部分はひび割れが無く、耐力の低下はない。壁部材はせん断力によるひび割れ発生と見られるが、壁に大きな残留変形は無いので内部鉄筋の座屈はないと見られる。従って、最も不適当なものは (2) である。

[問題 27] … 正解 (3)

aは1986年、bは2003年、cは1992年、dは1987年に、それぞれ改正された。従って、適当なものは (3) である。

[問題 28] … 正解 (4)

図の状態は床版の主鉄筋に沿うひび割れが進展し、配力鉄筋に沿うひび割れが進展し始めた段階であり、耐力の低下は小さい。さらに劣化が進行すると、ひび割れの網細化が進み、ひび割れ面のこすり合わせが始まり、押抜きせん断耐力が低下し始める。

従って、適当なものは (4) である。

[問題 29] … 正解 (2)

表面気泡に対する補修は、(1) で述べている方法でよい。

コールドジョイントの補修は、その程度に応じて異なる。軽微な場合は、ポリマーセメントペーストを刷毛塗りする程度でよいが、縁切れしている場合にはUカットして、ポリマーセメントモルタル等を充填する必要がある。

豆板に対する補修も豆板の程度に応じて異なる。豆板部分を強く叩いても粗骨材がはく落しなれば、ポリマーセメントモルタルを塗布すればよい。また、粗骨材がはく落す場合には、周辺の不良部分をはつり取り、ポリマーセメントモルタル、無収縮モルタル等を充填する。

従って、不適当なものは (2) である。

[問題 30] … 正解 (4)

写真から、中性化深さにばらつきがあるが、

大きい箇所では25 mm程度である。今後10年間 \sqrt{t} 則により中性化が進行すると、 $25 \times \sqrt{40/30} = 29$ mmになり、ほぼ鉄筋かぶりに等しくなる。しかしながら、一般に屋内にある部材は屋外にある部材よりも鉄筋腐食の進行が遅く、中性化が鉄筋位置を越えてから、徐々に鉄筋腐食が進行するとされている。

以上より、今後10年間無処置であっても、鉄筋腐食はほとんど生じないと考えられる。従って、最も適当なものは (4) である。

[問題 31] … 正解 (4)

写真1は、スターラップ等の鉄筋腐食によりコンクリートの浮きが生じていると考えられることから、電気防食による対策は妥当である。

写真2は、床版上面からの漏水により遊離石灰が生じていると考えられることから、床版防水による対策は妥当である。

写真3は、凍害によりコンクリート表面にスケーリングが生じていると考えられることから、表面被覆による対策は妥当である。

写真4は、アルカリシリカ反応によりひび割れが生じていると考えられ、塩化物イオンの影響はないと考えられる。また、アルカリシリカ反応が生じている構造物に電氣的脱塩工法を適用すると、通電によりアルカリ金属が鉄筋周辺に集積され、アルカリシリカ反応が促進される可能性がある。

従って、不適当なものは (4) である。

[問題 32] … 正解 (4)

問題の鋼橋RC床版は積雪寒冷地に位置しているため、凍結防止剤の散布による塩害が考えられる。なお、海岸からは20 km離れているため、飛来塩分の影響はないと考えられる。

疲労には特に大型車の影響が大きいため、全車の交通量よりも、大型車交通量のデータが重要である。

従って、最も適当なものは (4) である。

[問題 33] … 正解 (3)

片持ちスラブの先端が下がり、付根部付近に最大幅1.5 mmのひび割れが生じていることから、断面の曲げ耐力に対して過大な曲げモーメントが生じていると推測される。この付根部の曲げモーメントは上部が引張側になるので、下面部から補強するのがよい。また、既に生じたひび割れに対しては、樹脂注入等により補修するのが妥当である。

従って、最も適当なものは (3) である。

[問題 34] … 正解 (1)

梁には主筋に沿って幅2~3 mmのひび割れが生じていることから、火害等級はⅣ級と判断される。かぶりコンクリートをはつり、断面修復を施すのが適当である。

天井スラブには爆裂が発生し、広範囲に鉄筋が露出していることから、火害等級はⅤ級と判断される。補修のみでは不十分であり、補強・取替え・増設等の対策が必要と考えられる。

隣室の天井スラブは油煙が付着した状態であることから、火害等級はⅡ級と判断される。コンクリート表面を研磨し、ポリマーセメントペーストを塗布すればよいと考えられる。

従って、最も適当なものは (1) である。

[問題 35] … 正解 (3)

ポリマーセメントモルタルはエポキシ樹脂モルタルに比べて、一般に性質がコンクリートに近い。従って、ポリマーセメントモルタルはエポキシ樹脂モルタルよりも電気を伝えやすく、紫外線による劣化を生じにくく、酸による侵食を受けやすい。

また、ポリマーセメントモルタルの熱膨張係数はコンクリートと同等であるのに対して、エポキシ樹脂モルタルの熱膨張係数はコンクリートよりも大きい (2~4倍)。

従って、適当なものは (3) である。

[問題 36] … 正解 (4)

一般に夏季における鉄筋の自然電位は、冬

季よりも卑な値を示すことが知られている。外部電源方式による電気防食工法においては、一般に復極量が100 mV以上確保されるように通電調整がなされる。夏季には復極量が小さくなり、所定の値を確保できなくなる場合には、通電電流量を増加させる必要がある。

従って、適当なものは (4) である。

[問題 37] … 正解 (4)

写真はPC桁の外ケーブル工法による補強事例を示している。

(1) 死荷重等の影響によるクリープたわみが増大した場合には、外ケーブルによりたわみを減少させることができる。また、引張り側に生じていたひび割れを閉じさせることにより、断面の曲げ剛性を増加できれば、自動車荷重等によるたわみも減少できる可能性もある。

(2) , (3) 外ケーブル工法により、曲げ耐力とせん断耐力を増加させることができる。このため、(2) , (3) は補強の理由になり得る。

(4) 写真は支承のある橋梁であり、この構造形式の場合には橋脚等の下部工で耐震対策がなされるのが一般的である。

従って、最も不適当なものは (4) である。

[問題 38] … 正解 (1)

既設RC床版と増厚コンクリートの接合面に付着がない場合、それぞれの断面二次モーメントは $bh^3/12$ で等しいので、それぞれが $P/2$ ずつ荷重を負担することになる。したがって、最大たわみは $1/2$ になる。

既設RC床版と増厚コンクリートが完全に一体になっている場合には、全体の断面二次モーメントは $b(2h)^3/12$ で、既設RC床版の8倍になる。したがって、最大たわみは $1/8$ になる。

従って、適当なものは (1) である。

[問題 39] … 正解 (1)

(1) 中性化に対しては二酸化炭素の侵入を防ぐ必要があるが、一般に樹脂リシン吹付

け材ではその性能が十分でない。

- (2) 塩害に対しては塩化物イオンの浸透を抑止する必要がある。シラン系浸透性吸水防止材には一定の効果があり、実用されている。
- (3) コンクリート中のアルカリ金属イオン量に相当する量のリチウムイオンを含浸させることにより、アルカリシリカ反応を抑制できる。
- (4) ポリウレア樹脂は一般に耐水性・耐食性・耐薬品性に優れており、硫酸腐食に適している。

従って、最も不適当なものは (1) である。

[問題 40] … 正解 (3)

- (1) 炭素繊維 (PAN系) の弾性係数は、アラミド繊維よりも大きい。
- (2) ガラス繊維の引張強度は、ビニロン繊維よりも大きい。
- (3) 炭素繊維 (PAN系) のセメントペーストとの付着性は、ビニロン繊維よりも小さい。
- (4) アラミド繊維の耐アルカリ性は、ガラス繊維よりも大きい。

従って、不適当なものは (3) である。