

ディビダーク工法を施工して ——現行 PC 指針の改正を必要とする点について——

上 前 行 孝
長 田 野 裕
松 野 操 平

筆者達は本誌2号に報告したように嵐山橋の工事を行ったが、施工にあたっては昭和30年土木学会制定プレストレストコンクリート設計施工指針および鋼棒使用PC設計施工指針(昭和33年6月、日本材料試験協会発行)により工事の監督を行った。ところが指針はある部分はASTMに基礎をおいたり、またある部分ではDINによっているために実際筆者達が工事を監督する場合、思わぬところで予期しない矛盾に出会った。今後この種の工事においてかかる混乱をさけるために鋼棒使用PC指針をできるかぎり矛盾の少ないものにしたい。

実際にディビダーク工法を施工した者の立場から、現行指針の改正してもらいたい点を理由を付して述べることにする。

1. セメントについて

〔現行指針〕第3条 セメント

セメントは、普通の場合 JIS R 5210 (ポルトランドセメント) に適合するものを用いる。

〔改正の必要な点〕 セメントは原則として普通セメントを使用し、また混和剤についての規定を設けること。

〔理由〕 ディビダーク工法の設計の場合、設計上の種々の常数や仮定は DIN または D&W 社がドイツ国鉄の認可を受けた方法に従うことが多い。ところが DIN の規則はドイツのセメントに対し実験研究の結果出されているもので、日本のセメントを使用する場合はこれらの常数等を全部変えねばならない。例えばセメントの時間-強度曲線は図-1のごとくであり、ドイツの場合 Z 225 以上を早強セメントといっているが、これは日本の普通セメントに近いことがわかる。ゆえに日本で早強セメン

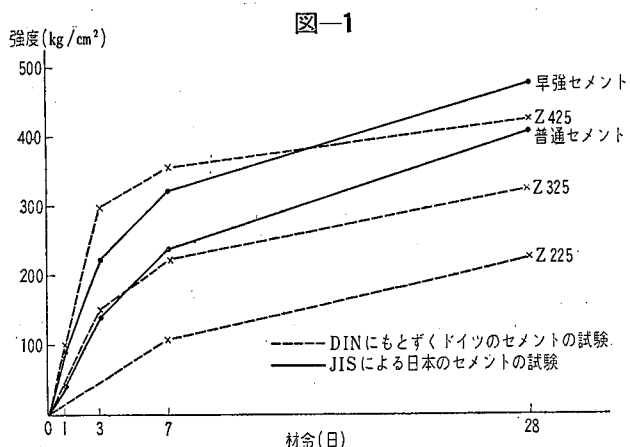


図-1

トを使用するとき、ポステン時期を決定する DIN の式 $w/1.15 \times w_{28} = 0.75$ における常数はこのまま使用できない。この値をいかにするかは日本の研究が発表されていないからいえない。それならば材料自体をなるべくドイツのセメントに近いものを使用せねばならぬ。すなわちセメントに関して特に α_{number} を考慮せぬかぎり普通セメントを使用するよう規定すべきである。またドイツでは乾燥収縮に対しこれと見合う体積膨張を与えるようなセメント混和剤を使用する(例: プラスセメント; これはコンクリートのウォーカビリティーもよくする)。日本でも体積膨張させぬまでも、せめてコンクリートの収縮を減少せしめるような混和剤を使用する方向に向うべきだろう。ゆえに混和剤についての規定を入れるべきである。嵐山橋の場合はボゾリス No 8 を使用した。実験の結果も収縮に対してよい影響を示している。ただしこの案はコンクリートの初期強度をある程度落とすので、工期を短くしようとする要求とは矛盾する。実験の結果は図-2 に示してある。

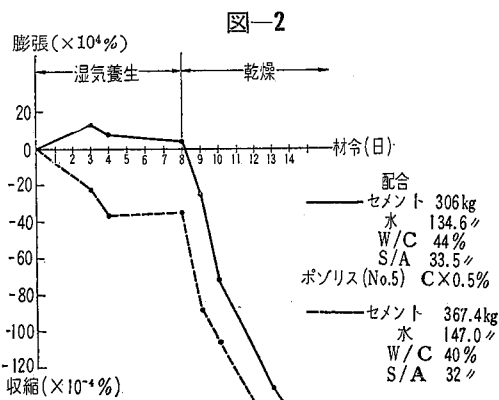


図-2

2. コンクリートの品質について

〔現行指針〕第5条 コンクリートの品質

コンクリートの品質は材令 28 日の圧縮強度が 300 kg/cm² 以上のものでなければならない。

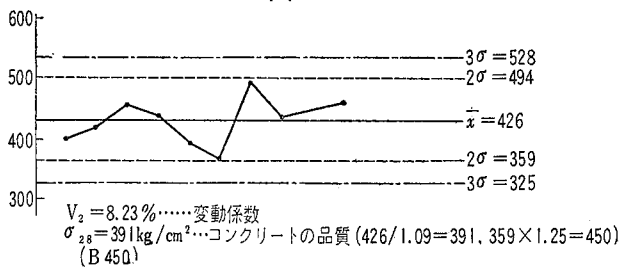
〔改正の必要な点〕 指針の σ_{28} の最低値をより低くし、立方体供試体と円柱供試体との強度関係および、おのこの場合の品位の表わし方の違いを明確にすることが必要である。

〔理由〕 まず立方体供試体強度と円柱供試体強度の関係は $\sigma_c = 1.25 \sigma_{28}$ としてよい。しかしコンクリートの品位を換算するとき $B = 1.25 \sigma_{28}$ としてはならない。これ

は、コンクリートの品位を表わすとき、ドイツでは圧縮強度試験 Data の最小値をとるが、日本では 1/20, 1/50 等の確率で 1 個の Data が下まわってもよいような線を引き、これをコンクリートの品位と呼んでいる。故に一個一個の Data で $\square=1.25 \square$ が成立しても品質を表わす σ_{28}, B においては普通行っているような $B=1.25 \sigma_{28}$ あるいは $B \times 0.8 = \sigma_{28}$ の関係は成立たない。コンクリートの強度のバラツキが大きいほど、この傾向は大きくなる。この意味で土木学会制定プレストレスト コンクリート指針の解説は再検討の必要がある。

さて σ_{28} の最低値であるが 67/100 の品質をもつ鋼棒を用い、第一種荷重で設計する場合一般に $\sigma_{28}=240 \text{ kg/cm}^2$ で十分である。それ以上は工期を早くする目的以外何の意味もない。いうまでもなく必要最小限のセメントを使用したコンクリートが最良のコンクリートである。 σ_{28} の最低値が高く規定されていることは日本のプレストレスト コンクリートに非常に多くのセメントを使用する傾向に拍車をかけていることになる。後述するポステン時のコンクリート強度を下げることに関連して、この規定は 240 kg/cm^2 に改正されるべきだと思う。参考までにドイツでは $B300 \sim 600$ のコンクリートを使用する。図-3 に嵐山橋の例を示す。

図-3



3. PC 鋼棒について

〔現行指針〕 第 6 条 PC 鋼棒

(2) 鋼棒母体部分の機械的性質の保証値は次の値未満であってはならない。

引張強度	80 kg/mm ²
0.2% 永久伸びに対する応力	60 kg/mm ²
0.02% 永久伸びに対する応力	50 kg/mm ²
伸び (測定長 8 d)	5.0%

〔改正の必要な点〕 引張強度および降伏点だけでなくこれらの値の比を規定せねばならない。また疲労に関する規定を必要とする。

〔理由〕 後で述べるように、許容応力を決定するとき引張強度の 60% 降伏点の 75% とし、このうち小さい方で決めるよう規定しなければならないが、このとき両者の値があまり開きすぎるのは好ましくないからである (40 条 PC 鋼棒の許容引張応力度の項参照)。またディビダーク工法では、部分によって、鋼棒にくり返し荷

重を受けさせるような設計がある (例: 嵐山橋中央ゲレンク, アバット垂直鋼棒等)。またパーシャル プレストレッシングの場合もいくぶんくり返し応力を受ける。かかる場合は疲労から許容応力を決定しなければならないことがある。

4. アンカー部の品質試験について

〔現行指針〕 第 14 条 アンカー部の品質試験について

(2) アンカー プレートおよびワッシャーは、プレストレス導入時およびその後において破壊せず、また、いちじるしい変形を生じないように製作し、試験によってこれを確かめなければならない。

〔改正の必要な点〕 ディビダーク プレートと日本製のものとの比較し、変形に関する制限を数量的に明確にすること。

〔理由〕 これは後述するアンカー部の鋼棒間隔、縁端距離の問題と関連して重要なことである。嵐山橋のごとく鋼棒間隔、縁端距離および緊張力に関し、ドイツと同じにやるなら、アンカー プレートの剛性、コンクリートの性質もドイツと同じか、あるいは安全側にしなければならない。これは不可能なことだから、アンカー プレートの変形、コンクリートの性質について規制を行い、これに従って日本独自の鋼棒間隔、縁端距離を規定するのが適当と考える。

5. プレストレスを与えてよときのコンクリートの圧縮強度について

〔現行指針〕 第 17 条 プレストレスを与えてよときのコンクリートの圧縮強度

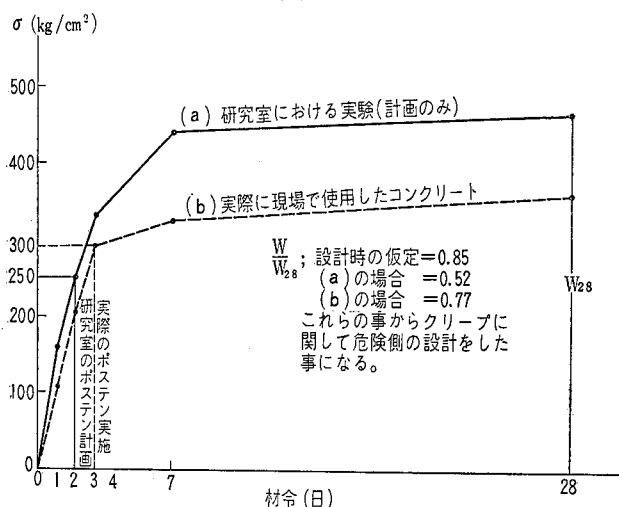
プレストレスを与えてよときのコンクリートの圧縮強度は、プレストレスを与えた直後の最大圧縮応力度の 1.7 倍以上、かつ、 250 kg/cm^2 以上でなければならない。

〔改正の必要な点〕 250 kg/cm^2 以上の規定は不要である。

〔理由〕 クリープを考慮して、当然、強度別 (σ_{28})、セメント別 (Z_{number}) の規定を行わねばならない。実例を上げると $B300$ のコンクリートの場合、 $w=1.15 \times 0.75 w_{28} = 260 \text{ kg/cm}^2$ で、これを円柱供試体強度に直すと 210 kg/cm^2 となる。もし指針規定を守るならば $B300$ (1/50 の確率で 1 個の Data が下まわりうる場合の σ_{28} で 240 kg/cm^2 くらいの品質に当る) のコンクリートを使用することができなくなる。しかしこれは現在の 250 kg/cm^2 を 210 kg/cm^2 に下げるということではない。もし単にある値で指示するようなことをすると、施工者はこの値を非常に短期間で出すように計画する。例えば嵐山橋では緊張に必要な強度を 2 日を出すように計画し、コンク

リートの配合設計をしたので配合は σ_2 強度でしばられ決定され、そのため w_{28} が必要以上に大きな値となった (B640 くらい)。このため $w/1.15 \times w_{28} = 0.75$ (DIN の規定 w : 緊張時強度, w_{28} : 28 日強度, とともに立方体供試体強度) が全く無視された (図-4 参照)。しかしこれはあやまりで DIN の示すごとく、配合はあくまで σ_{28} で決定され、緊張時の強度は逆にこれから計算され、この強度が得られるまで緊張を待つように計画をしなければならぬ。また指針もそうさせるように規定されねばならない。

図-4



6. プレストレッシングについての注意

〔現行指針〕 第 18 条 プレストレッシングについての注意

(2) PC 鋼棒は各鋼棒に所定の引張力が与えられるように、これを引張らなければならない。

(3) PC 鋼棒に与えた引張力は、引張装置の荷重計の読み、PC 鋼棒の抜け出し長さから計算した鋼棒全長の伸びより、これを確認しなければならない。

〔改正の必要な点〕

(2) 緊張の誤差 4~5% を認めざるを得ない。

(3) PC 鋼棒に与えた引張力は PC 鋼棒の抜け出し長さ (Dehnung) のみで確認決定する。荷重計の読みで決定するのではない。

〔理由〕 (3) 荷重計はポンプマンが緊張力導入の速度を調節するため、イールドポイントを越えぬための用心、および参考資料である。(2) さてこのように緊張終了の決定を鋼棒の抜け出し長さのみで行うから、もし鋼棒断面積に誤差のあるときは、 $P = \Delta l / l \cdot E \cdot A$ より当然緊張力にも誤差が入ってくる。現在の鋼棒には $\phi 26 \pm 0.5$ mm の誤差があるので、緊張力には当然 4% くらいの誤差が入らざるを得ない。これに Δl 自体の測定の誤差が入ってくるから、もし鋼棒の製作誤差を小さくすることが可能としても、なお 4% くらいの誤差を考慮しておくべきである。

7. 最小単位セメント量について

〔現行指針〕 第 19 条 最小単位セメント量

コンクリートに用いる最小単位セメント量は 300 kg/m³ とする。

〔改正の必要な点〕 コンクリートの最小単位セメント量だけでなく、必要な強度に対する最高単位セメント量を規定する必要がある。

〔理由〕 日本のプレストレスト コンクリートではセメントを多く使いすぎる傾向がある。これは工程を短縮して器材の回転を早くしようという施工業者の方針と、やたらに強度ばかり要求する監督者側の考えとが一致した結果生れたもので、この傾向の是正のため、むしろ強度に応じた最高単位セメント量を定める方がより必要である。このことは前述のポステン時の強度、コンクリートの品質に関する規定が高すぎることと密接に関連している。コンクリートの強度の高いのが必ずしも安全側でないことを認識すべきである。嵐山橋の配合設計を表-1 に示す。

表-1 研究室で出された示方配合 (計画のみ)

粗骨材最大寸 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	単位水量 W (kg)	単位セメント量 C (kg)	水セメント比 w/c (%)	絶対細骨材率 s/a (%)	単位細骨材量 S (kg)	単位粗骨材量 G (kg)		単位ポゾリス量 (g)
								5~12.5 mm	12.5~25mm	
25	0~3	0~2.5	133	303	44	33.5	660	590	750	1515

神奈川県が指示した示方配合 (実際に使用)

粗骨材最大寸 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	単位水量 W (kg)	単位セメント量 C (kg)	水セメント比 w/c (%)	細骨材比 G/S	単位細骨材量 S (kg)	単位粗骨材量 G (kg)	ポゾリス No. 8 25% 溶液 (l)	備考
25	3~6	0~2	142	349	42.7	1.9	655	1241	7	主桁用 支柱壁、覆壁等
25	8~12	0~2	156	349	46.7	1.9	648	1232	7	

8. コンクリート打ちについて

〔現行指針〕 第 20 条 コンクリート打ち

コンクリートの練り混ぜ、運搬、打込み、および締固めについては、学会規準によるものとする。

〔改正を要する点〕 打設設備（ことに振動機）の規模について特別に規定する必要がある。

〔理由〕 ドイツで比較的小量のセメントを使用して（300~350 kg/m³、日本の RC なみの使用量）プレストレスト コンクリートが成立しているのは、水の使用量について示方配合と現場の計量がよく一致していることも一因である。例えば、バイブレーターは直径が 8 cm くらいものを使用せねば研究室と現場のコンクリートの一致は望めない。研究所では最良の器具を想定し、現場では最も経済的な器具を配置するのが普通だからである。嵐山橋の使用器具の例によると、

1. バイブレーター；フレキシブル棒状バイブレーター、220 V、3HP、直径 80 mm、7000 のもの 2 個を使用した。

2. 打設の方法；口の小さいホッパー、シュートは禁止し（固いコンクリートに不適）ミキサー→バケツ→ネコ車の順序で運搬した。

注 (1) バイブレーターはフレッシュ工法では普通 30 mm φ くらいものを使用するが、ディビダーク工法のごとく、桁高が高く断面が複雑になると 6~7 cm くらいのスランプのものすら打設できなかった。もしこのような振動機を使用すると、配合設計者はスランプ 0~3 cm の立派なコンクリートを設計し、人夫は水を増して楽をし、監督はつじつまを合わせるため、なるべく強度のでそうなバッチから資料をとり、すべての人びとが幸福になる可能性がある。

注 (2) ホッパーは出口の直径が小さく、スランプ 10 cm ですでにコンクリート打設困難だったので木材で特別に受け台を作らせた。

9. コンクリートの養生について

〔現行指針〕 第 21 条 コンクリートの養生

コンクリートの養生については、学会規準によるものとする。

〔改正を要する点〕 打ち込まれたコンクリートの温度の調節について、もっと合理的で厳格な規定を必要とする。

〔理由〕 日本のようにセメントを多量に使用する傾向のある場合は、ドイツで考慮する以上に温度について敏感でなければならない。またディビダーク工法における構造物は断面が温度変化に対して不静定であり、施工中にブロックを打継いでゆくから、新旧コンクリート間の熱応力を少なくするためにも、厳格に温度の規制を行わなければならない。

大体の指針を次のとおりに提案する。

a) 温度の計り方

構造物に 図-5 (b)のごとくシースを入れておき、コンクリート打設後、水を満たして温度計で測定する。

b) 温度制御の方法

温度は fresh concrete の温度を規準にとる（決して気温との差、あるいは単に温度そのものの高低について考えるのではない）。ここで fresh concrete の温度は 20°C 以上、打設コンクリートの温度は fresh concrete の温度 +30° 以上高くなってはいけぬ。fresh concrete の温度が 20°C 以上になるときは材料のプレクーリングを行い、打設コンクリートの温度が fresh concrete の温度 +30° 以上になるときは、fresh concrete +8° になったときに冷却を開始する。

さて桁においては、かく温度が上がりすぎるが、スラブは冬期温度が下がりすぎる。少くとも 10°C を保つようヒーターを入れ、カバーをかぶせて保温せねばならぬ。

監督や指針で注意すべきは、温度の高すぎる場合であって、低すぎる場合はコンクリートの強度を上げるために施工者は黙っていても保温の処置を講ずるのが普通である 図-5 (a)(b) 参照。

10. PC 鋼棒に引張力を与える方法について

〔現行指針〕 第 22 条 PC 鋼棒に引張力を与える方法

(2) 同一部材に PC 鋼棒 2 本以上用い、かつ各 PC 鋼棒に順次引張力を与えて定着する場合には、あとから定着された鋼棒の引張力によって起るコンクリートの弾性変形のため

図-5 (a)

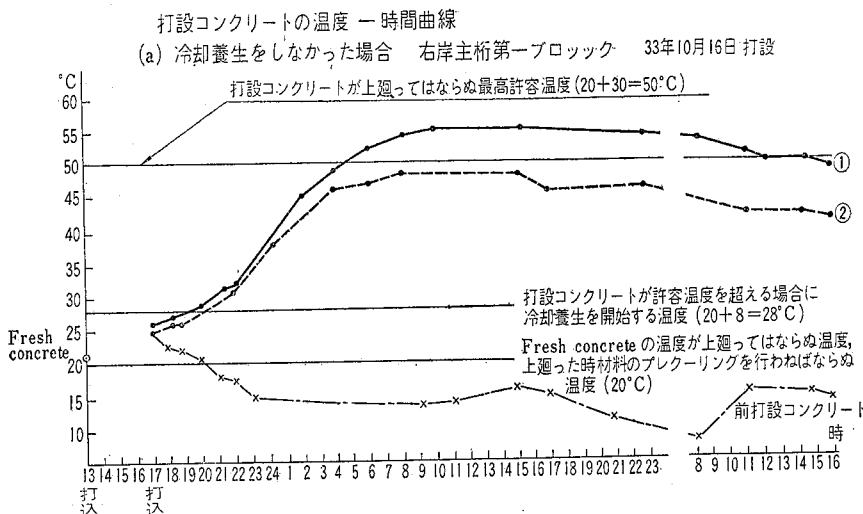
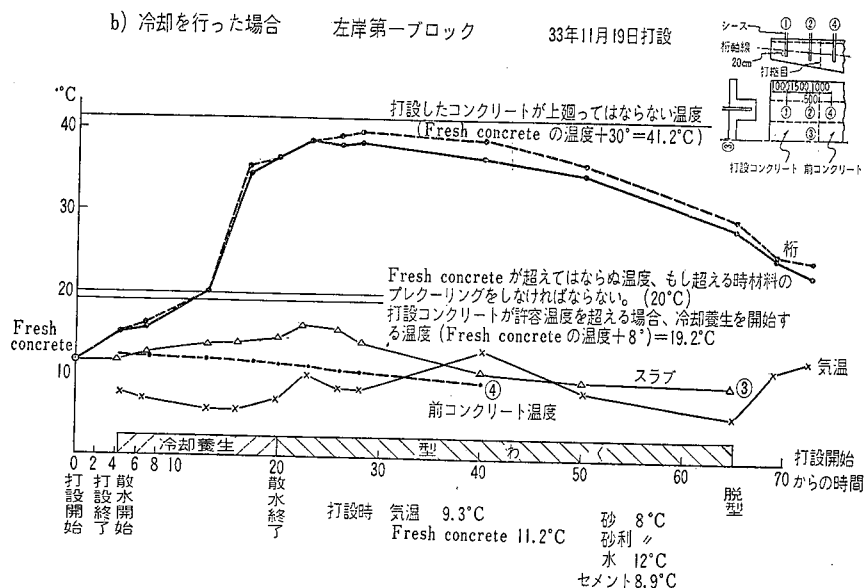


図-5 (b)



を使用するとき、水素ガスの発生を制御するため、ドイツ

ではトリコザール(商品名)を使用する。セメント分散剤は塩化カリの入っているものは絶体に不可である(例:ポゾリス No. 5 は不可)。

シー스는3ブロック打設ごと、できればブロック打設ごとに通水試験を行わねばならぬ。またグラウトは凍結のおそれのあるとき以外は、シース内を水で満たした状態で行ってもよく、排出されるモルタルが注入されるモルタルと同じになったら注入を完了する。

12. 部材設計の方針について

〔現行指針〕第34条 部材設計

の方針

(1) 部材は、第一種荷重に対してフルプレストレッシングの設計としなければならない。ただし状況により制限つきパーシャルプレストレッシングとすることができる。

〔改正を要する点〕主要部材においても、第一種荷重に対して、パーシャルプレストレッシングを採用するようにしたい。このとき生ずる引張応力に対して配筋しておけばよい。

〔理由〕嵐山橋において、圧力壁上の主桁断面、基桁の端部、等にパーシャルプレストレッシングの設計、施工を行った。その後名神高速道路内の高架橋もパーシャルプレストレッシングの設計を行っている。

13. 地震力および不等沈下に対する許容応力、および安全率について

〔現行指針〕規定なし

〔改正を要する点〕これらの許容応力および安全率を新たに規定しなければならない。このとき第一種荷重に対するパーシャルプレストレッシングの制限より、ゆるやかな制限をもうけるか、あるいは無制限にしてもよい。引張力に対して鉄筋を配置しておけばよい。つまり引張りに対するコンクリートを無視してPCと同じ取扱いをしてもよい。今までこれらのことが問題にならなかったのはPC橋梁が単純バリ型式に限られていたからで、ディビダーク工法構造物のように不特定構造物が造られるようになると、これらが断面決定の大きな要素となる。従って地震荷重や不等沈下に対して、パーシャルプレストレッシングの明確な規定を必要としてくる。なお不等沈下に対しては次のような考慮がなされるべきである。すなわち一般に不等沈下は相当期間をかけて徐々に進行

め、先に定着されたPC鋼棒の引張応力は減少する。したがって各PC鋼棒の引張応力になるべく所定の大ききとなるよう、くり返して引張力を補正するか、または、あらかじめ所定緊張力より大きい引張力を与えて、PC鋼棒全部が定着されたとき各PC鋼棒に所定の引張力が与えられるようにしなければならない。ただし、コンクリートのクリープ、乾燥収縮によるプレストレス損失をできるだけ少なくするため、後日、締め直し(プレストレスの導入し直し)を行うときにはこのかぎりではない。

〔改正の必要な点〕この規定は不要である。

〔理由〕実際に2本以上の鋼棒を並べて順次に緊張してゆく場合、最初の緊張が後の緊張で影響を受ける量は(1%より小)緊張の誤差(4~5%)より小さい。ゆえに指針の規定は原理としては正しいが、實際上意味がないようである。

11. グラウトについて

〔現行指針〕第24条 グラウト

グラウトは十分にPC鋼棒をつつみ、かつ確実に付着するものでなければならない。

〔改正を要する点〕グラウトモルタルの3日、7日強度に対する規定、混和剤に対する明確な規定、グラウトの準備作業に関する規定を行うべきである。

〔理由〕ディビダーク工法ではグラウトの2~3日後ワーゲン(約50t)の荷重に対する応力に耐えられる強度を必要とする。7日後にはさらにワーゲンを移動するため、応力は増大する。このためドイツでは3日強度150kg/cm²、7日強度200kg/cm²と規定している。この強度は普通使用しているがグラウトの配合では得られない。フライアッシュは除かねばならぬ。またアルミ粉

報 告

するものであるから、当然クリープもこれにともなうわけで、結局不等沈下による応力はクリープをとまなわないうと仮定した場合の 20% 程度になってしまうので、急激な不等沈下に対しては地震力と同様に、またクリープをとまなう不等沈下に対しては第一種荷重と同様に取扱うべきである。

14. 定着端付近の許容引張応力度について

〔現行指針〕 第 39 条 定着端付近の許容引張応力度

定着端付近ではプレストレス導入によって材軸と直角方向に引張力が働く。この場合の許容引張応力度は許容圧縮応力度の 0.07 倍とし、これを超過する場合は第 46 条 (3) に従って補強鉄筋を配置しなければならない。

〔改正を要する点〕 定着部付近の材軸と直角方向の引張力に対しては原則として配筋しない。この引張力が許容引張力を越えぬよう、鋼棒間隔、縁端距離を規定する。

〔理由〕 ここで注意せねばならないのは、日本製のディビダーク工法用アンカー プレートの剛性 ($E \times J$) が小さいため (形は同じであるから J は等しいが E が小さい) と日本のセメントがドイツのセメントより引張強度が小さいため、上の規定にドイツの規定をそのまま持ってきてはいけないことである。嵐山橋はドイツの規定に従ってやったが、われわれは実験の結果、ドイツの規定どおり行くと ($B 300$ の場合、最小鋼棒間隔 17.5 cm, 同縁端距離 12 cm) 67/100 の鋼棒を使うときポステン時にひびわれの出る可能性がはなはだ大きいこと、また 80/105 鋼棒を使うときは、必ずひびわれが入るに違いないことが明白となった (表-2, 図-6 参照)。

表-2

2) 実験結果 緊張力に対する初きれつの安全率 a) の場合

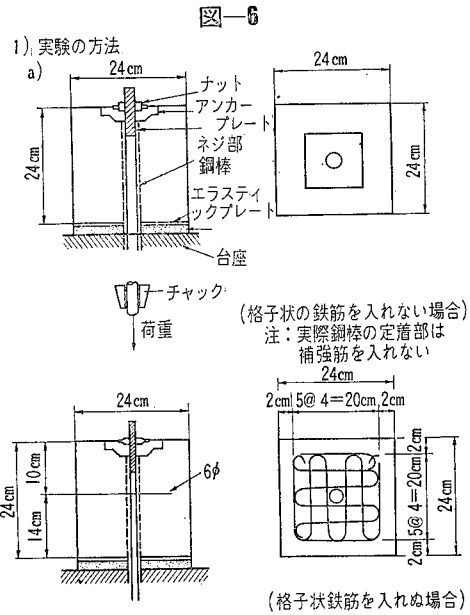
No.	初きれつ荷重 (t)	最大耐力 (t)	安全率		そのときのコンクリートの強度 (kg/cm ²)	材令 (日)
			鋼棒67/100	鋼棒80/105		
1	28.0	28.0	1.05	0.88	297	σ ₃
2	27.8	27.8	1.04	0.87	296	〃
3	24.0	24.0	0.89	0.75	290	〃
平均	26.3	26.3	0.99	0.83	294	〃

b) の場合

No.	初きれつ荷重 (t)	最大耐力 (t)	安全率		実験時のコンクリート強度 (kg/cm ²)	材令 (日)
			鋼棒67/100	鋼棒80/105		
1	44.0	55.8以上	1.65	1.38	320	σ ₅
2	42.0	58.0 〃	1.57	1.32	334	〃
3	40.0	60.5 〃	1.50	1.25	369	〃
平均	42.0	58.1 〃	1.54	1.32	341	〃

注 67/100 の品質の鋼棒を使用するときは
 鋼棒の許容応力 $6.7 \times 0.75 = 5.02 \text{ t/cm}^2$
 一本当り緊張力 $5.02 \times 5.31 = 26.7 \text{ t}$
 80/105 の品質の鋼棒を使用するときは
 鋼棒の許容応力 $8.0 \times 0.75 = 6.00 \text{ t/cm}^2$
 一本当り緊張力 $6.00 \times 5.31 = 31.9 \text{ t}$

鋼棒間隔、縁端距離については日本独自の規定を作っ



て律すべきで、暫定的にドイツの規定に従うときは必ず補強筋を入れるべきである。

15. PC 鋼棒の許容引張応力度について

〔現行指針〕 第 40 条 PC 鋼棒の許容引張応力度

(1) PC 鋼棒の許容引張応力度 σ_p は $\sigma_p = 0.7 \times$ (降伏点応力) を原則とする。ただし、最終定着に入る前には、降伏点応力の 0.75 倍以内とすることができる。

〔改正を必要とする点〕 許容応力は降伏点の 75%、破断強度の 55% という工合に両方を考えてその小さい方で決める。また部材によってくり返し応力を受けるようなときは、疲労も考えて決定するように規定せねばならない。

〔理由〕 6 条 (2) の部分の要求はこの点から生ずる。

破断強度はリラクゼーションに関係するからこの要素を無視するのはよくない。また嵐山橋中央ゲレンクの鋼棒は、0~降伏点 $\times 0.75$ 間のくり返し応力を受けている。鋼棒のくり返し荷重試験を行っておらぬから不安を感じた。また鋼棒製作者が降伏点を上げる方向のみに多くの努力を払われることは残念なことである。これは指針で、許容応力を Y.P. からのみ決めるように規定していることも一因である。また疲労に関する性質を犠牲にすることはみづからパーシャルプレストレスリングの道を閉ざすものといわねばならない (例: 嵐山橋 Cr.Va 鋼 じん性大 降伏点強度 67 kg/mm², 破断強度 100 kg/mm², すなわち 67/100, 嵐山後 Si, Mn 鋼 じん性小 80/105 となっている)。

ディビダーク工法のみならず、プレストレスコンクリート全体の正しい発展のために、現行指針に以上の改正を望むものである。

(上前行孝・長田裕: 神奈川県土木部道路課)
 (松野操平: 日本道路公園名神高速道路部)