

上前, 長田, 松野 3 氏の 「ディビダーク工法を施工して」に対する私見 (その 2)

上前, 長田, 松野 3 氏が提起された鋼棒使用 PC 設計施工指針に対する問題点 15 項目のうち 5 項目についての私見を前号で述べた。本号では残りの 10 項目についての筆者らの私見を述べる。

なお, 紙数の都合で現行指針の条文は省略するので本誌第 1 巻第 4 号¹⁾ または PC 指針³⁾ を参照されたい。

6. プレストレッシングについての注意および鋼棒に引張力を与える方法

[現行指針] 第 18 条 プレストレッシングについての注意

[改正の必要な点]

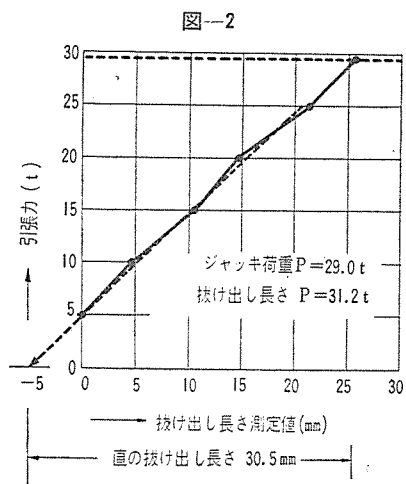
(2) 緊張の誤差 4~5% を認めざるを得ない。

(3) PC 鋼棒に与えた引張力は PC 鋼棒の抜け出し長さ (Dehnung—Spannweg の誤り) 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。

まず, プレストレッシングの注意であるが (2) の規定は原則論を表わすものである。実際の施工にあたっては施工誤差その他の原因で緊張 4~5% の誤差も認めざるを得ないことは明らかであり, 上前氏らの意見に反対するものではないが, 規定には原則論も示すのがよいと考える。ただ, 規定の運用にあたって規定の言葉どおりに解釈し, これを厳密に守ることを要求するのはいけない。現場ではできるだけ所定のプレストレス力が導入されるよう工夫した努力すべきであり, 監督者も実用上ある程度の誤差を認めた上で, できるだけ設計書どおりのプレストレス力が導入されるよう監督すべきである。

(3) については上前氏らの改正案のように単に PC 鋼棒の抜け出し長さだけから, PC 鋼棒引張力をチェックする方法には反対である。たまたま DW 工法に使用するジャッキには抜け出し長さ測定装置 (定着ナット回転数カウンター) が設備されているから, 比較的正確に抜け出し長さを測定することができるので, 精度の悪いジャッキの荷重計にたよらなくてもよいが, 一般の PC 鋼棒の緊張に用いられているジャッキ (Simplex Re-Mo-Trol Oil Jack が多い) では抜け出し長さ測定装置がついていないから, スケールによってこれを測定する以外に方法がなく, きわめて精度が悪くなるおそれがある。とくに短部材の場合には抜け出し長さの測定が実際

上困難となる場合がある。このような場合にはどうしてもジャッキの荷重計の読みにたよる以外に方法はない。このためには常にジャッキ荷重計のキャリブレーションを行っておき, 荷重計の読みだけでもできるだけ正確に緊張力があたえられるようにする。また, 抜け出し長さは PC 鋼材引張力が 0 のときから所要引張力まで緊張したときのもを測定したのでは, 緊張前の鋼材のゆるみなどで誤差がいちじるしく多くなるから, 図-2 に示すように所要の引張力に至る間の途中の引張力に対するのびを測定しておき, これらから図-2 に示すように引張力 0 の場合の真の抜け出し長さ測定規準を求め, これから測定値を補正した, 真の抜け出し長さを測定するか, または, 最初, 鋼材のゆるみがなくなるところまで緊張しておき, これを標準として以後の引張力に対する抜け出し長さを測定する。したがって, この場合でも抜け出し長さ測定作業にジャッキ荷重計の読みが必要となってくる。



[現行指針] 第 22 条 PC 鋼棒に引張力を与える方法

[改正の必要な点] この規定は不要である。

この規定はプレストレス力を計画どおりに導入するために欠くことのできないものであると考える。もちろん計画どおりということは第 18 条の規定に対して上前氏らの改正意見にあるように, 施工上どうしてもおこりうる 4~5% の誤差を認めた上でのものであると考えていただきたい。すでに述べたように DW 工法では施工方法の特質からプレストレス導入がコンクリートの各施工

区分ごとに順次行なわれるから、前に施工された工事区分において緊張定着された PC 鋼棒の引張力は、それ以後の工事区分においてプレストレス力がさらに導入されてコンクリートの弾性変形がおこっても、後者のプレストレス導入は前者の工事区分の施工完了後から、ある程度材令がすぎたからであるから、前の工事区分のコンクリート弾性係数はかなり増大することが予想され、一般の PC の場合のように同工期日に、多段配置全 PC 鋼棒を緊張定着する場合とくらべてコンクリートの弾性変形は少なくなり、したがって、DW 工法の場合にはコンクリート弾性変形による引張力損失は少なくなる。一般の PC 部材では DW 工法と事情が異なり、とくに、実際施工にあたって PC 鋼棒引張力の損失は理論計算値よりも、かなり大きくなるのが普通である。たとえば、PC 鋼棒定着時のナットの締め具合によって、ジャッキの引張力をゆるめた場合にかんがりの損失がおこるようであり、また仮わく底板とコンクリート部材との間の摩擦によって、コンクリート本体と仮わく底板との縁が切れるまではコンクリートの弾性変形がほとんどおこらないから、PC 鋼材が引張られているだけでコンクリート部材にはプレストレス力がほとんど導入されない状態になる。たとえば、問題を簡単にするため全 PC 鋼棒が部材軸上に集合して配置されているものとして、形わく底板とコンクリートとの摩擦により全 PC 鋼材の緊張定着が終るまでコンクリートの弾性変形が阻止されており、かつ、緊張定着完了後に摩擦拘束がなくなってコンクリートの変形がおこる場合を考えると、定着完了時の全 PC 鋼材引張力 P_0 と部材の弾性変形後の有効プレストレス力 P との比はつぎのようになる。

$$P_0/P = 1 + np \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 n は弾性係数比、 p は鉄筋比である。通常の PC 部材では $n=5\sim 8$ 、 $p=0.5\sim 1\%$ であるから、

$$n=5, p=0.5\% \text{ の場合 } P_0/P=1.025$$

$$n=8, p=10\% \text{ の場合 } P_0/P=1.080$$

となって、少なくとも 2.5%、多い場合には 8% の損失がおこることになる。実際の PC 部材では PC 鋼材引張力の損失は近似的に以上の約半分であると考えてよいようであり¹⁰⁾、したがって

$$P_0/P = 1 + np/2 \dots \dots \dots (3)$$

と考えるとよい。この場合には

$$n=5, p=0.5\% \text{ の場合 } P_0/P=1.0125$$

$$n=8, p=1.0\% \text{ の場合 } P_0/P=1.0400$$

となって、コンクリートの弾性変形によるプレストレス力損失は 1.25~4% に達する。この損失はコンクリートが弱いほど、PC 鋼棒使用量が多いほど大きくなる。これに施工上の誤差が加算されてくるから、場合によ

ては、かなり大きなプレストレス損失がおこり、損失量が 10% 程度になることもある。著者も実際の PC バリについてこれを実測したことがあるが、やはり計算による損失量以上の損失が測定された。このような大きい損失が実際におこるから、本条で規定されている締めなおしや過緊張による引張力補正が必要となるのである。DW 工法のような特殊の場合だけを考慮するのはきわめて危険である。

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

[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。

最高単位セメント量も規定すべきだとする上前氏らの理由としては、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、単位セメント量を多くする傾向があり、これを是正するためには、むしろ強度に応じた最高単位セメント量も規定すべきだとするものである。この理由に対して著者の意見を述べると、セメントを使いすぎる害を知らせるための処置としては趣旨には賛成するが、まず第一に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いう意味が、はっきりわからない。工程短縮と器材回転を早める目的で業者が設計書に記載されている所要強度以上の高強度コンクリートを使用するため、ウォーカーをよくする目的で、どうしても多量のセメントを使用するという意味ならば、これは業者側の認識不足によるものである。DW 工法のようにコンクリート打ち込み後 2~3 日でプレストレス導入を要求される特別の場合を除外すれば、一般の鋼棒使用ポステン材ではたとえ鉄製型わくを使用する場合でも、型わく底板を除外して他はポステン時期に関係なく早期に回転使用できるので、無理に要求強度以上のコンクリートを打ち込むことは、ほとんどない。監督側がやたらにコンクリート強度ばかりを要求することは、経済性の点からはきわめて不合理であり、設計に採用されている強度が出れば十分なのであるから、それ以上のものを要求する監督側も、認識不足というほかはない。このような認識不足は単に規定に最大単位セメント量の制限を設けてみても、改まるものではないと考える。むしろ監督側のより一そうの勉強を強調する以外に方法はない。ただ、ここで注意しなければならないことは、高強度コンクリートの使用にあたって、要求強度をうるための必要な水セメント比が決まるから、必要水セメント比を持つコンクリートをよりウォーカーにする

ためには単位セメント量を多くすればよいという考えだけで単位セメント量を必要以上に増大している傾向があることである。同一水セメント比ならば単位セメント量をませば、よりウォーカーブルになるのはもちろんであるが、これにともなって強度の低下がおこることを全く計算に入れていないことが多い。とくに、この影響は早期強度においていちじるしく、著者の行なった実験では図一3に示すように単位セメント量が400 kg/m³程度までは7日強度 σ_7 に対するセメント使用量の影響はほとん

ど認められないが、500 kg/m³以上になると、いちじるしく強度低下があることがわかる。また、別の実験(未発表)によれば、水セメント比40%、細粗骨材重量比1:1.73のコンクリートの圧縮強度は表一2のようになった。これらの実験結果から明らかなように、ただコンクリートのウォーカービリチーをます目的で必要以上に単位セメント量をますことは、早期強度の発揮に悪影響をおよぼす。必要最小限度のウォーカービリチーをうるのに必要な単位セメント量にとどめるのが望ましいわけである。だからといってコンクリート強度別に最大単位セメント量を規定することは面白くない。それはウォーカービリチーが骨材粒径、粒度および細粗骨材比によっていちじるしく影響をうけること、および配合設計は現場技術者の技術的問題として取扱われるべきものであることによる。

なお、上前氏らの論文では最低コンクリート強度規定値が高すぎることもセメント使用量の多くなる原因であると述べておられるが、最低強度規定値の高くしてある理由はすでに2.項においてのべたので、ここではふれないが、コンクリート強度の高いのが必ずしも安全側でないを書いておられる意味が不明である。前述のように要求されたコンクリート強度以上の強度を採用することは無意味であるという意味ならばわかるが、構造設計上の要求強度を高くとりすぎることは必ずしも安全側とはならないということであれば、これは理論上きわめて矛盾した意見であるといわざるを得ない。この問題については安全側でないという意味をはっきり定義した上で再び論議したいと考える。

8. コンクリート打ちおよび養生について

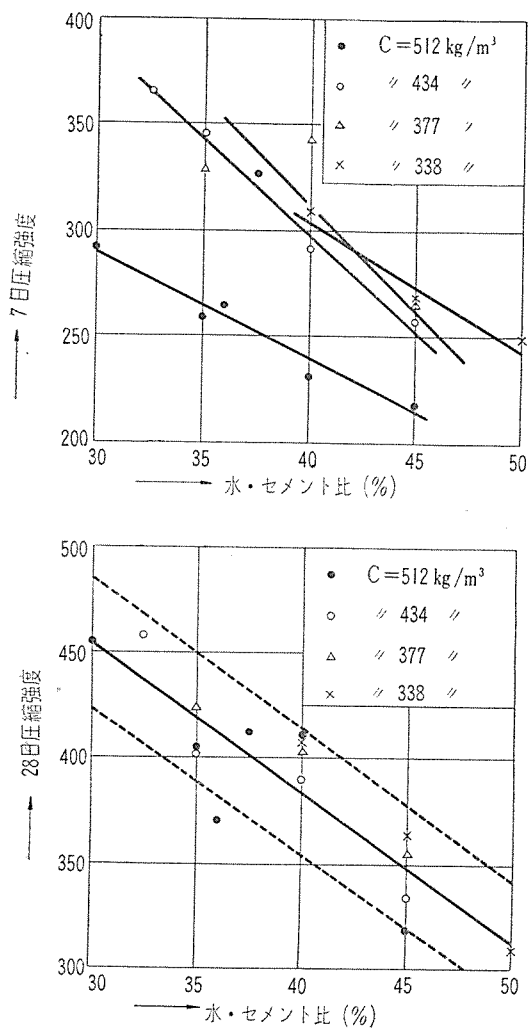
[現行指針] 第20条 コンクリート打ち

[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。

[現行指針] 第21条 コンクリートの養生

[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、もっと合理的かつ厳格な規定を必要と

図一3



表一2 セメント使用量と材令7日強度との関係を示す一実験例*

単位セメント量 kg/m ³	φ15×30 cm シリンダー強度**		20 cm 立方体 強度**		ウォーカービリチー	
	強度平均値 (kg/cm ²)	強度比 (%)	強度平均値 (kg/cm ²)	強度比	スランプ (cm)	締締め係数
350	295	100	384	100	0	0.780
400	281	95.25	331	86.20	1.5	0.826
450	261	88.47	314	81.77	5.0	0.822
500	255	86.44	293	76.30	15.0	0.987
550	273	92.54	316	82.29	18.5	0.989

* 水セメント比40%、細粗骨材重量比1:1.73
 ** 強度はいずれも供試体3個平均

する。

まず、コンクリート打ちに関する規定であるが、打設設備（ことに振動機）に関する特別の規定は、規定の本文中に入れる性質のものではないと考える。それは部材の形状、寸法、使用材料、現場の状況などが千差万別であるから、これらをすべて考慮してくわしく規定することはきわめて困難な問題でもあるし、また、現行指針は法律的な規定ではなくて参考指針といった程度のものであるからであって、この問題はむしろ解説の中に入れるべきであると考え。現行指針には第 20 条に対する解説中に一応一般的な事項だけはのべてある。

コンクリートの養生に関する規定についても、第 21 条解説に一応の温度の調節に対する注意は書いてある。ただ、具体的にどのような温度になるように、いかにして冷却するかといったことについてはふれてないが、これらについては現場で技術者が考えるべき問題である。DW工法に使用した方法が万能であると考えて、これを規定中にとり入れることは反対である。ただ、解説中にこれらをくわしく書くことは賛成であり、改訂の機会があれば御期待にそうようにしたい。

9. グラウトについて

〔現行指針〕 第 24 条 グラウト

〔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なうべきである。

現行指針はきわめて簡単な規定しか設けられていないが、これは指針立案時にはグラウトに関する研究が十分なされていなかったために、必要と思われる最小限度の規定すらも定めることができなかった。上前氏らの意見にもあるように、グラウトの品質規格、混和剤、グラウト作業と、これにともなう諸試験など、最近の研究成果を集録して指針を作る必要があると考える。暫定的には北海道土木技術会制定のグラウト注入指針¹²⁾によるのがよいと考えている。

10. 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

〔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なりたい。このときに生ずる引張応力に対して配筋しておけばよい。

構造物の安全性（ひびわれ安全度、破壊安全度）を大きくし、また、ひびわれ発生によってろう水、凍害などの悪影響を受けないようにすべきことは、構造物設計上の原則である。この意味から第 1 種荷重に対してフルプレ

ストレッシングの設計を行なうのがよいと考える。建築構造物ではたとえば地震力などのように部材の破壊耐力近くまでのいちじるしく大きい第 2 種荷重を受ける構造物では、なおさらである。しかしながら、建築物の小バリ、軽微な道路橋などのように第 2 種荷重が働かないか、または働いても第 1 種荷重とくらべて、きわめて小さいと考えられる場合には、パーシャルプレストレッシングの設計とすることができる。もちろん、主要な道路橋であっても第 1 種荷重が第 2 種荷重よりいちじるしく大きい場合には、状況に応じてパーシャルプレストレッシングの設計としてよいわけであり、とくに構造物の一部がこの条件を満足するような場合にも許容される。主要構造物はどんな場合でもフルプレストレッシングの設計とするように規定したのではなく、それぞれの構造物の特殊事情（たとえば、設計荷重の作用の仕方など）に応じて責任技術者の判断のもとに、経済的なパーシャルプレストレッシングの設計を採用されるのがよいと考える。何度ものべたように現行指針には原則論だけをのべてあるので、パーシャルプレストレッシングの採用などの重要な問題については、それぞれの専門分野において、個々の構造物について十分検討の上、採用されることを望むものである。

11. 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〕 これらに対する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。

まず、地震力に対する許容応力度と安全率の規定であるが、破壊的地震力はきわめて短時間かつ、まれにしか働かない非常時荷重であるから、地震力によって構造物が破壊しなければ、たとえ破壊の寸前にまで至っても PC 構造の持つ高度の復元性という特質のために、地震力の作用が終了すれば再びもとに復して、もとと同じ力学的性質を示すことが予想される。したがって、このような荷重に対して許容応力度を定めたとしても、構造物は地震力によって弾性範囲を通りこして塑性的性質を示す範囲に至っているから、許容応力度を決めることによって、どれほどの余力を構造物が持っているかを知ることとはできない。また、きわめて内輪な地震力に対してひびわれがおこらないことを要求するのであれば、それに対する許容応力度を決められるが、それだけでは耐震安全性は保証されない。したがって、大地震で崩壊しないことを目標として設計する限り、地震力に対して許容応力度を決めることは無意味であるし、また、これによってどの構造物に対しても同等な破壊安全性を保証したこ

とはならない。そこで現行指針では地震力のような非常時荷重に対しては第 51 条にしたがって断面の曲げ破壊安全率を検査することになっている。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\text{断面の曲げ破壊モーメント}}{\text{第1種荷重によるモーメント}} &\geq 2 \\ \frac{\text{断面の曲げ破壊モーメント}}{\text{第1第2種合併荷重によるモーメント}} &\geq 1.2 \\ \frac{\text{断面の曲げ破壊モーメント}}{\text{断面のひびわれモーメント}} &\geq 1.4 \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

である。これらの安全度の規定値が妥当であるかどうかの判定はきわめて困難である。設計荷重の作用の仕方、構造物の力学的挙動（たとえば、非線型振動解析、プラスチック ヒンジの性質など）などの諸条件を十分に知った上で始めて厳正な安全度を定めることができるのであるが、現段階ではなお研究すべき数多くの問題が残されている。(4)式はこの意味からあくまでも暫定的なものである。

つぎに不等沈下の問題であるが、現行規定には第 33 条の荷重分類において第 2 種荷重に分類されている。これは急激な不等沈下に対するものであり、ゆるやかにおこる不等沈下に対してはコンクリートのクリープによる不等沈下による応力の緩和を考慮すべきであるし、また、第 33 条にはこのような場合には第 1 種荷重として取扱うことができると規定されている。ただ、明確にどのよ

うに取扱うべきかは規定していない。これは現行指針が概略の方針を示すのを根本にしており、あらゆる角度から規定して技術者の考慮の余地を残さないような職人的指針となることを恐れるためでもある。

12. 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

[改正を要する点] 定着端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、縁端距離を決める。

上前氏らの論文では嵐山橋で使用した DW プレートは日本製のもので、ドイツ製のものと比較して曲げ剛性 EJ の値が小さく、また、セメント引張強度もドイツのそれにくらべて小さいので、DW 社規準にしたがって定着端補強筋なしで使用するときには定着端コンクリートにひびわれが発生する危険性が大きい。したがって、定着端補強筋を配置しないで安全に使用できるためには、鋼棒間隔、縁端距離について日本の規格を定めるべきだとしている。著者も DW プレートをを用いた割裂ひびわれ耐力の実験を行なったことがあるが¹⁹⁾、図-4 に示す 2 次元載荷とする場合の実験結果を要約すると表-3 のようであり、 $\phi 27$ mm PC 鋼棒定着時の引張力 30 t に安全にたえるためには補強鉄筋を挿入する必要がある

表-3 DW プレートと平板耐圧版との定着効果に関する実験結果

供試体 グループ	耐圧版 の種類*	コンクリート				割裂ひびわれ 耐 (t)	破壊耐力 (t)
		重量配合比	水セメント比 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)		
①	DW (JE)	1:2.0:2.6	50	279	27.8	30	48.0
	DW (AE)					27.5	47.2
	PL-27					28.5	51.8
	PL-25					27.5	46.6
②	DW (JE)	1:1.7:2.3	42	342	30.0	32.5	55.4
	DW (JE)					29.0	54.8
	PL-27					32.0	55.5
	PL-27					35.0	58.7
③	DW (JE)	1:1.4:2.0	34	441	35.1	35.0	60.0
	DW (JE)					28.0	59.6
	PL-27					37.0	62.8
	PL-27					40.5	65.5
④	DW (JE)	1:2.0:2.6	50	215	20.0	26.0	37.0
	DW (AE)					23.5	36.6
	PL-27					24.0	37.0
	PL-25					24.0	36.0
⑤	PL-22	1:2.0:2.6	50	321	30.1	28.0	43.8
	PL-22					27.5	38.0
	PL-16					23.5	34.1
	PL-16					23.5	35.1

* DW(JE)―緊張側 DW プレート, DW(AE)―非緊張側 DW プレート, PL―平板プレート(14×14 cm), 末尾の数値は mm 単位で表わした厚さ

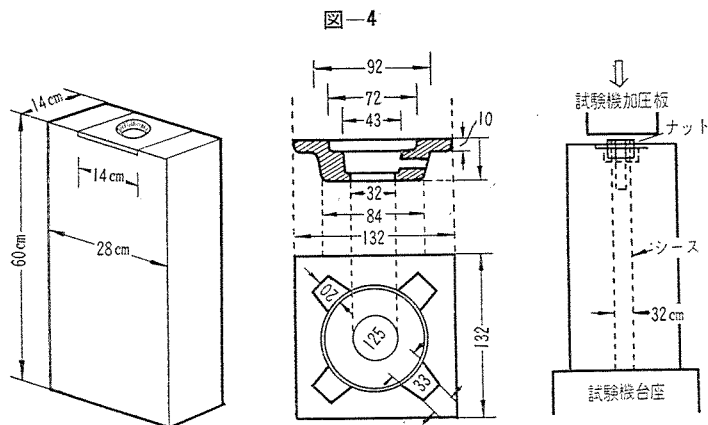


図-4

ことが明らかとなった。また、この実験では DW プレートの定着効果はこれと同程度の表面積を持つ 14×14 cm 平板定着版で厚さ 25~27 mm 程度のもので同等の定着効果があることが明らかとなった。しかし、上前氏らの改正案のように定着端割裂応力に対する補強鉄筋を入れないことを原則として、鋼棒間隔や縁端距離の規定を設けることには反対である。その理由は補強鉄筋の挿入によって実際の割裂ひびわれ耐力および破壊耐力をいちじるしく増大しうるからである¹⁴⁾。DWプレートのようにプレート周辺にツバのついているものでは PC 鋼棒定着ナットから伝達される局部集中荷重が、周辺のツバの部分からもコンクリート端面に伝達される¹³⁾から、比較的うすいつばであっても局部荷重の分散の意味からはきわめて有効であるが、平鉄板の場合には表-3 に示した実験結果からも明らかのように、DWプレートと同一表面寸法を持ったもので DW プレートと同等の定着効果を発揮させようとするならば、どうしても厚さを 25~27 mm 程度にすることが必要であり、かつ、平板耐圧版では DW プレートよりも見かけの曲げ剛性が小さくなりがちであることなどを考慮すれば、平板耐圧版を使用するときには、どうしても割裂補強筋なしではすまされない場合も起こりうる。さらに DW 工法では主として φ27 mm PC 鋼棒を使用するが、一般の場合には φ27 mm ばかりでなく φ24, φ18, φ16 mm など多種類の PC 鋼棒が使用されるので、これらについて、いちいち鋼棒距離、縁端距離などを細かく規定することは困難なことである。したがって、一般には現行指針のように割裂補強筋を挿入する方針で設計するのがよいと考える。ただ、DWプレートのように耐圧版の局部応力伝達有効面積が広くなるような特別な工夫を行なわれたものを使用するとき

は、それぞれにしたがって実験によって定着効果を調査し、補強筋を挿入しなくてもすむようにするのは自由である。要は PC 鋼棒を安全に定着し、かつ、引張力を確実にコンクリートに伝達しさえすればよいのである。

13. 結 言

以上にのべた上前、長田、松野氏の論文「ディビダーク工法を施工して」に対する著者の私見には、いささかの確性を欠く記述もあることと思う。著者は最初にものべたように、設計施工指針はあまりにも法律的色彩の濃いものであってはいけなないと考える。設計施工の実際の仕事はあくまでも責任技術者の判断において行なわれてこそ、多種多様な条件のもとにある個々の構造物で矛盾のない合理的な建設が可能であると考えられる。これには各技術者が誤った判断を下さないという前提が必要であるが、指針はこれを正しい判断へと結びつける役目をするものでなければならないと思う。したがって、指針はいかに考えるかということを示すものでなければならず、また、技術者の考慮の余地を全く残さない杓子定規のものであってはならないと考える。上前氏らの論文は DW 工法に関するドイツ規定にあまりにも片寄りすぎているように思われる。もちろん現行指針が必ずしも完全なものというのではない。改正すべき点は多くあるが、あくまでも一般方針を示すにとどめ、技術者の考慮の余地を残して自由な設計施工を行なえるようにしておくのが最も理想的であると考えられる。

参 考 文 献

- 10) T.Y. Lin : Prestressed Concrete Structures, John Wiley & Sons, Inc., 1955
- 11) 坂・六車 : 高強度コンクリートのウォーカービリチーと配合設計に関する基礎的研究, 材料試験協会 PC 研究委員会資料, 昭 34.10
- 12) 北海道土木技術会 PC 研究委員会 : PC グラウト注入施工指針, 昭 34.2
- 13) 坂・六車・鈴木 : ディビダーク工法の定着版効果に関する実験的研究 (その 1), 住友電気 第 72 号
- 14) 坂・六車・小垣・寺沢 : 鋼棒使用ポストテンション型 PC の定着部応力に関する研究 (第 2 報), 日本建築学会論文報告集 第 53 号, 昭 32.2

(筆者 坂 : 会長, 京大名誉教授, 工博)
六車 : 正会員, 京大講師)

1960.12.10・受付