

## 鋼棒使用 PC 設計施工指針の改訂希望に対する 坂・六車両先生の御意見について

「ディビダーク工法を施工して」<sup>1)</sup>と題する筆者らの報告について坂・六車両先生より貴重な御意見<sup>2)</sup>を載せ、われわれは非常に啓発されたことを感謝している。

実のところ、この報告については、筆者らの中でもかなり異論があったのである。しかし問題と思われる点をすべて提起することが、ディビダークの工法を最初に施工した者の使命と思い、浅学菲才をも省りみず、あえて全文を発表させて載いたのである。

筆者らの共通した意見は、第 5 回道路会議の「Dywidag 工法における問題点」と題して提出した一般論文に示されたものであったことを、一言つけ加えておきたい。

現在の土木 PC 構造物はまだ橋梁が主である関係上、筆者らのこれらの提案が橋梁を前提とした版、桁を対象に考えていたことはたしかである。このことはまた、土木と建築との観念的な差として、土木学会の新指針と建築学会の改訂案とを比較してみても多くの相違点があることで明瞭に証拠づけられる。しかし筆者らは必ず土木と建築との示方書は根本的に統一されるべきものであることを信じている。

今回はこのような観点からも、得がたき御意見に対して感謝申し上げるとともに、さらに次の諸点について御指導を載せたいと思う。

### 1. セメントおよび混和材料について

筆者らの意向は現在の PC で早強セメントを多量に使用するのが一般的となりつつある傾向を少々抑制することであった。この裏づけとして二、三の理由をあげたのである。これらのうちでセメントの強度規定が DIN と JIS で異なっているという理由については、筆者らの報告の図-1 は、やや根拠が薄弱であったと思う。しかし、早強セメントが発熱、収縮、引張強度、等を犠牲にして初期圧縮強度についての性質だけを高めた製品であることは明らかであり、工期にしばられない場合には、できるだけ、普通セメントを用いた方がよいことには変わりはない。近頃のように部材断面が比較的大となりつつある現状からすれば、さらにこのことが重要になってくると思う。

土木学会新指針でも、4 条セメントの解説中で、特に

この注意を喚起している。

混和材料については、筆者らは別に一条規定を設けることを提案した。この規定には混和材の効用を概説し、プレストレスに有害な影響がないことを確信した場合には、その使用を認めるように希望した。土木学会新指針では 5 条に混和材についての規定を新設している。

### 2. コンクリートの品質について

筆者らの論点は、最低強度の値を低くすること、および、円柱供試体強度と立方体供試体強度の関連を明確にすることの 2 つである。

両先生のいわれるとおり、コンクリートの強度に関連する条項で DIN その他、立方体供試体を採用している規定を参照していないとすれば、後半についての筆者らの意見は少し見当が違ったかも知れない。しかし DIN を参照するときは、テストピースの寸法の違いだけでなく、コンクリートの品質の表わし方の違いを考えていなければならない。論点前半については両先生の意向はもともとであり、筆者らの考え方は普遍性を欠いたようである。しかし、重要度の低い部材のために、低いコンクリート強度を採用できることを希望したのである。

土木学会新指針でもプレキャスト部材の間詰めコンクリートのように、それほど重要でない部分では 250 kg/cm<sup>2</sup> までコンクリートの品質を落してもよいことになっている。

### 3. PC 鋼棒について

筆者らの論点は、許容応力度を定めるときに降伏点からだけでなく、破断強度からも決定するよう提案したものである。

このことは、降伏点の高い鋼材でも破断強度の比較的低い場合には鋼棒の破断安全率も低くなるので、PS 導入時などのような場合の作業安全性について不安を生ずる。

土木学会新指針では、品質を 1 種から 4 種まで分け、各種について品質を規定しているが、製造方法による区別はしていない。鋼棒の許容応力度を  $0.60\sigma_{pu}$  または  $0.75\sigma_{py}$  のいずれか小さい方で決定することにしている。

#### 4. アンカー部の品質試験 および定着端付近の引張応力度について

この条項については、筆者らの間でもかなり異論があった。すなわちディビダーク工法以外の工法の場合のアンカー部支圧応力度、および端ブロックにおける横方向引張応力度の方が大となるということ、実験の結果を供試体断面と全然異なった断面を有する、実際の部材に結びつけて考えることなど不明確な点があるが、実験結果では初きれつ荷重、最大耐力がひくかったことは確かである。

この点で筆者らの論旨にはさらに多くの実験の裏づけを必要とする。幸い、首都高速1号線の連続合成桁床版にプレストレスを必要とし、この場合のアンカープレート使用に際し公団から別子建設に依頼して、各種アンカープレートについての90個の試験結果をえた。この結果を供試体コンクリート強度別に平均値をとり、その最大耐力との関係を図-1に、また初きれつ荷重との関係を図-2に示す。試験方法は前と同様である。コンクリート供試体の大きさは180×260×500と180×520×500の2種、アンカープレートはDWプレート、P128

図-1 コンクリート強度とアンカー部破壊耐力との関係

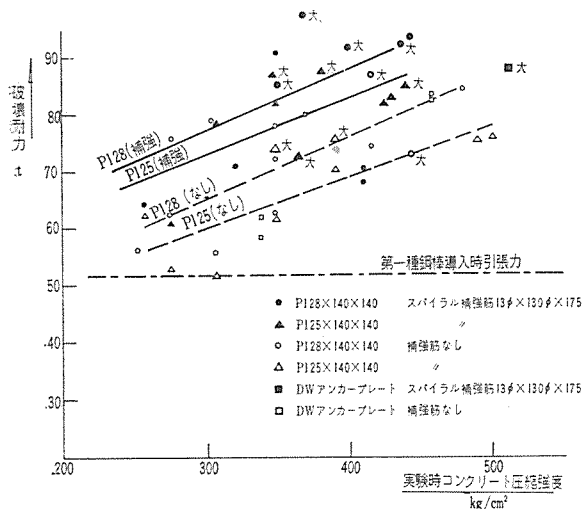
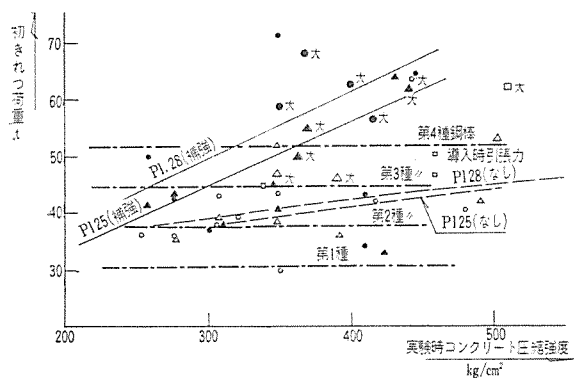


図-2 コンクリート強度とアンカー部初きれつ荷重との関係



×140×140, P125×140×140の3種について、φ13×130 φ×175(5巻)のDywidag標準スパイラル筋で補強した場合と、補強しない場合についての結果を整理してみた。

これらの結果の平均線を図上にひくと、図-1,2の間に明確な相違があることを知る。図で大と添字してあるのは供試体180×520×500を意味する。仮定から供試体の大きさには差をつけずに直線をひいたわけだが、初きれつ荷重に対してはこの供試体の大きさの差はかなり影響しているのがわかる。両先生も御指摘のとおり、平板耐圧板ではその厚さが定着効果を左右していることが明らかであるが、初きれつ荷重に対して、その補強筋がない場合は、ほとんど厚さによる差がないようである。

これらの図から見て補強による効果は十分発揮されている。しかし、破壊荷重についてはDWプレートの方が、曲げ変形が大となり、耐圧板中央部分に応力が集中し、コンクリートを割裂する力が大となり平板よりも早く破壊をもたらす結果になった。

図-2からもわかるように、2種、3種と次第に高強度PC鋼棒を使用する場合には、補強筋なしでは不安を生ずる。

#### 5. プレストレスを与えてよいときのコンクリートの圧縮強度

筆者らの主張は、プレストレスを与えてよいときの強度を250 kg/cm<sup>2</sup>以上と規定してある部分を除き、かつクリープの影響を考えて、設計に用いたσ<sub>28</sub>の関数で規制する条項を付加すること、の二つである。

前者は、例えばディビダーク工法のように、ある断面に与える全プレストレスのごく一部を、初期に与える場合には、必ずしも250 kg/cm<sup>2</sup>以上の強度を必要としないと思うからである。同様なことは部材の乾燥収縮によるひびわれを防ぐため、初期に与えるプレストレスングについてもいえる。これらの場合のために250 kg/cm<sup>2</sup>以下の強度でもプレストレスングを行なえるよう道を開いておくべきであろう。

論点の后者は、コンクリートのクリープ量と関連することである。クリープの理論は、σ<sub>28</sub>とプレストレスを導入するときのコンクリート強度σ<sub>p</sub>の関数となっている。すなわち同じ250 kg/cm<sup>2</sup>の強度でプレストレスングを行なっても、σ<sub>28</sub>が異なればクリープ量も異なるのである。この理論の正否は別としても、そのような考え方で指針が作られているかぎりにはσ<sub>28</sub>に無関係にプレストレスを導入できるはずはないのである。一例としてσ<sub>28</sub>=350 kg/cm<sup>2</sup>、プレストレス導入時の強度σ<sub>p</sub>=250 kg/cm<sup>2</sup>の設計であったとする。ところが実際に現場では

プレストレスを早く入れるため  $\sigma_p=250 \text{ kg/cm}^2$  の強度をより短期間でうるように配合設計をしたとする。この結果  $\sigma_{28}$  は  $500 \text{ kg/cm}^2$  になったと仮定すると、クリープ量は設計で見込んだクリープ量の2倍くらいになるはずである。設計上の仮定を破るこのような施工は、現行の鋼棒使用 PC 指針では防げないのである。両先生は「コンクリートの強度の大きいのは必ずしも安全側でない」という筆者らの主張のはっきりした意味を求めておられるが、以上に述べた点はクリープについて  $\sigma_{28}$  を設計より大きくしたため危険となる例である。

土木学会新指針では  $250 \text{ kg/cm}^2$  以上の規定は除かれ  $\sigma_{28}$  の関数としてプレストレス導入時期のコンクリート強度を規定している。またこれと章を別にして初期に全体のごく一部のプレストレスを導入する場合の強度の規定を行なっているのである。

## 6. プレストレッシングについての注意

プレストレッシングには必ず 4~5% の誤差が入ること、導入力は PC 鋼棒の抜け出し長さで判定すること、の二つが筆者らの論点である。

土木学会新指針では 20 条に「プレストレッシングの管理」として一条が新設され、導入緊張力にどの程度の誤差が起りうるか、またこれをどのように処理するかについて規定してある。導入力の判定は荷重計の読みと、鋼材の抜け出し長さの両方から検討するようになっていく。

## 7. 最小単位セメント量について

筆者らの意見では、近頃の PC の傾向としてセメントを多く使いすぎるきらいがあるから最小単位セメント量だけでなく最高単位セメント量も規定した方がよいと考えた。

「必要な最小限のセメントを使ったコンクリートが最良のコンクリートである」という RC の考え方は PC でも当然あてはまることを指摘したい。

土木学会新指針において 22 条において解説中ではあるが概略のセメント使用量の範囲を上下限で示し、合わせて 10 行にわたってセメントを多くしすぎる場合のへい害を記述している。

## 8. PC 鋼棒に緊張力を与える方法について

筆者らの意見は同一部材で 2 本以上の鋼材を引張るとき、前の緊張力が後の緊張で影響をうけることによる補正は、プレストレスの施工誤差より小さい。ゆえにこのような補正は不要であるということである。

しかし、これは両先生の御指摘のとおり確かに補正は

必要である。

ただし、その補正の方法はプレストレスの精度と見合う方法であってほしい。

土木学会新指針では 39 条 (1) の解説中で  $4\sigma_p$  (PC 鋼材の引張応力減少量) を簡単な式で与えている。

## 9. 部材設計の方針について

われわれの主眼点はパーシャルプレストレッシングの設計を認めるべきである、というところにある。

「必要な最小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」と同様、「必要な最小のプレストレスを与えたコンクリート部材が最良の PC 部材である」なぜならばプレストレスによる好ましくない要素——プレストレスによる弾性変形、クリープ変形、二次反力等——は、プレストレスの小さいほど少ないからである。建築のように高次の不静定構造となれば、これらの点は一そう重要な意味を持つに違いない。また部材の安全率はパーシャルプレストレッシングにしたから下がるというものではない。引張応力に対して配筋しておけば破壊安全率はむしろ上がることもありうるのである。もちろんパーシャルプレストレッシングの方が経済的に有利であるのは、いうまでもないことである。

これらのことから考えて鋼棒指針あるいは土木学会旧指針のように、消極的にパーシャルプレストレッシングが「許されている」状態ではなく、より積極的立場を規定に盛り込んでもらいたいのである。

土木学会新指針では旧指針におけるパーシャルプレストレッシングの控え目な考え方を止め、積極的に経済性等の利点を解説している。

## 10. 地震時および不等沈下時の許容応力度および安全率について

筆者らの論旨は、PC が静定から不静定、橋梁では上部工から下部工まで、と次第に広く利用されるようになったから、静定のプレキャスト桁のみを念頭において許容応力度安全率では不十分であり、標記の場合の規定を新設すべきである、という点を述べたものである。

この点に関しては土木学会旧指針はきわめて不十分であった。筆者らの意見はむしろ学会旧指針に対して述べられるべきであった。

地震時、不等沈下時の安全率については、両先生の御意見どおり鋼棒指針には規定がある。

ただし、地震時の許容応力度をきめるのが無意味だとは思わない。この点に関しては学会新指針も鋼棒指針同様、地震時の許容応力度を規定しなかった。地震時の許容応力度をきめるのが無意味だという意見を概略すれば

以下のものである。

(1) 地震のように動的荷重については弾性係数等、弾性理論の諸値が、まったく違った値を示すであろうこと。

(2) 地震のように極限的な荷重を受けた状態では部材が塑性領域に入っており弾性理論自体が成立しない。したがって弾性理論に根拠をおく許容応力度の概念そのものがナンセンスになる。

(3) 地震のような確率の少ない現象では、部材は破壊しても構造物は破壊しなければよい。すなわち部材について破壊安全率さえ保っておればよい、等である。

しかし筆者らはこの各項目ごとに反対意見を持っている。まず (1) については、材料の弾性係数として動弾性係数を採用すればよい。(2) については断面を大きくすれば、荷重が極限荷重となる状態をいくらかでも避けられる。(3) についても RC、鋼を問わず、すべて地震時の許容応力度の規定があり、これをもとに設計しており破壊しなければいくらか変形を生じてよいというような設計をしていない。

地震時許容応力度を規定しなくてもよいという真のねらいは、地震時で断面決定されることを避けようということらしい。しかし地震時の計算が重要な意味を持つのは、一般に下部工であり、下部工は地震時で断面決定されるのが当然である。

いま具体的に、鋼棒指針、あるいは土木学会新指針で設計した場合に不合理となる例を上げて見よう。図-3 に見られるような連続橋梁の水平力を受けさせる固定端ラーメンで、水平部材だけプレストレスされた構造を考えて見よう(このような構造物は首都高速道路で実際に存在する)。水平部材では土木学会新指針、あるいは鋼棒指針により安全率についてのチェックだけを行ない、垂直部材ではその他の示方書に従って許容応力度をもとにした設計を行なったとする。結果としてこの構造物では同じ構造物内で不均一な安全率の部材を持つことになる。もっと端的な例が図-4 の場合である。

このような部材では同一部材でありながら部材の上部と下部で不均一な断面を持つことになる。

現在のところ許容応力度をもとにした設計は計算上の

便法として有効なのであり鋼、RC 構造物すべてについて、破壊安全率の検討のみでよいことにならぬかぎり PC だけが地震時の計算で有利になることはゆるぎないと考える。

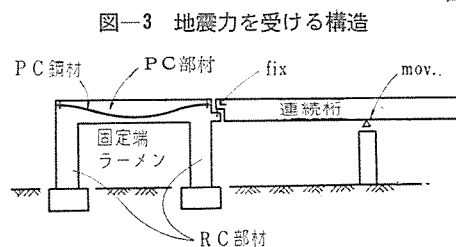


図-3 地震力を受ける構造

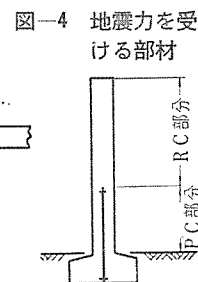


図-4 地震力を受ける部材

## 11. 結 言

われわれは、両先生に御意見を載せ、直接これから知識を吸収しただけでなく、少なくともこれにお答えするだけの勉強を余儀なくされた。この意味でわれわれは二重に啓発されたわけで御指導に対して幾重にもお礼を申し上げたい。

さらに、あの報告を書いた当時われわれは、たしかに両先生のいわれるとおり視野も狭かったし、われわれ自身が上述したように浅学菲才であった。その後土木学会においてプレストレス コンクリート 設計施工指針の改訂という大事な仕事に関与させて載せ、いささかの勉強をしたし、同時に改訂にあたっては多くの意見を述べ指針にもこれを反映させて載いたと思っている。

できれば両先生とわれわれの間の議論をもっと広い分野に、すなわち新しい学会 PC 指針についての討論に発展させたいと思う。このようにしてより広いより深い技術の追求をできればまことに幸いと考えている。

- 1) 上前・長田・松野：プレストレス コンクリート Vol.1, No. 4, 1959 年 10 月号 ディビダーク工法を施工して——現行 PC 指針の改訂を要する点について——
- 2) 坂・六車：プレストレス コンクリート Vol. 3, No. 1, 2, 1961 年 2, 4 月号 上前・長田・松野氏の「ディビダーク工法を施工して」に対する私見 (その 1) (その 2)

1961.7.25・受付

(上前：首都高速道路公団工務部  
長田：神奈川県土木部  
松野：日本道路公団総裁室)

## プレストレス コンクリート 設計施工規準・同解説 (近刊) 日本建築学会発行

日本建築学会構造標準委員会で作案したもので、11 月に刊行が予定されている。建築学会会員で特価券添付(建築雑誌 8, 9 月号参照)の場合には会員特価が適用されるので直接同学会(中央区銀座西 3-1)に御申込み下さい。

1 体 裁 : A5 判 約 340 頁 2 定 価 700 円 (〒130 円) 会員特価 630 円 (〒130 円)