

## PC 用コンクリート

## (1)

菅 原 操\*

## 1. は し が き

PC 構造物の施工は、その架設方式によって、場所打ち方式とプレキャスト方式とにわけられ、またプレストレスを与える時期によって、プレテンション方式と、ポストテンション方式とに分類され、ポストテンション方式の場合には、PC 鋼材の緊張、定着の方法などによって各種の工法が存在する。

しかしいずれの方式によっても、その施工は、コンクリート打ち、プレストレッシング、およびグラウチングの3段階、およびプレキャスト方式の場合、これに加えて部材の架設という4つの段階に大別される。

これらの各施工段階のうち、プレストレッシングおよびグラウトの問題については、それぞれ、野口、樋口両博士の研究が発表され、総合的な体系が整えられている。

またPC 構造物の架設の問題については、いままで、それぞれの地形、環境などに応じて最も適切な方法が選ばれてきていて、総合的な研究発表は行なわれていないが、猪股博士、小寺氏などの著書がある。

コンクリートの施工については、多くの技術者が、多くの現場で経験を積んできており、浅学かつ未熟な筆者が講座を述べるのはまことにおこがましいと考えるのである。

しかしながら、従来の鋼構造とのはげしい経済競争のすえに、逐次その適用範囲を拡大しつつあるPC 構造物の発展過程において、最近でも、まだコンクリートの施工不良のためにPC 桁の打直しや、補修を必要とした現場があるということを知り、とくに今後とも膨大な道路整備計画、国鉄の第3次長期計画など、工事費の大幅な増大が見込まれている現在において、PC 工事についての安心感を企業者に与えることがPC 技術の発展のために必要であることを痛感し、筆者のささやかな努力がコンクリートの施工の失敗を減らすことに役立つならば幸であると考え、この講座をお引き受けした次第である。

PC 用コンクリートの施工については、いろいろ注意

すべき問題点があるが、そのうち配合設計上の問題、十分な練りませと完全な打込み締固めを行なうための設備、かた練りコンクリートのコンシステンシーの管理、圧縮強度の管理、軽量骨材を用いる場合の施工上の問題など従来の考え方を一歩進めなければならない事柄については、ややくわしく述べてみたいと思う。

## 2. PC 用コンクリートの配合

## (1) 配合の決め方

PC 用のコンクリートは、密実で高強度を有し、鉄筋やPC 鋼材の周囲に十分にゆきわたり、これをつつんで十分な付着力を有するような配合のものでなければならない。このためには、あまり少ないセメント量では、これらの目的を達することができないので、単位セメント量は、プレテンション方式で 350 kg、ポストテンション方式で 300 kg 以上とされている(PC 設計施工指針 第 22 条)。しかし単位セメント量をあまり大きくすると、経済上不利なばかりでなく、コンクリートの硬化の際の発熱量が大きくなり、ひびわれがでたり、コンクリートの乾燥収縮やクリープが大きくなるなどの欠点も生じ易くなる。

プレストレスト コンクリートには、従来早強ポルトランドセメントが用いられることが多かったが、これは早期に高強度を発揮させて、工事行程の短縮をはかるという施工上の要求からのものであって、必ずしも早強ポルトランドセメントを用いる必要はないのである。したがって、これらの設計・施工上の要求に最も適するセメントを選定することが必要である。

示方配合は、実際に使用される材料を用い、現場における練り混ぜ、運搬、打込み設備などを考慮して試験練りを行なって決定しなければならない。このため圧縮強度の割増し係数は、その現場について予想される強度の変動係数を仮定して決める。

PC 鉄道橋およびPC 道路橋工事現場における、圧縮強度の変動係数の実績は表—1 および表—2 のようであって、一般に7~10% 程度である。しかし工事の初期で変動係数の予想の立たない場合、あるいは小規模の工事で十分な施工ができない場合には、いくらか余裕のある割増係数を用いて工事を開始し、コンクリートの強度試験値から、実際の変動係数が明らかとなるにしたがってこれに必ずするように配合を改めて行くのも一つの方法である。予想される強度の変動係数と、強度の割増係数との関係は図—1 のようになる。図—1 のうち実線で示したものは、土木学会 PC 設計施工指針 第 15 条にしたがって、実施する場合のものであって、点線は、PC 鉄道橋設計施工基準で採用している管理方式を行なう場合

\* 工博 国鉄建設局 技師

表一 PC 鉄道橋のコンクリートの示方配合と圧縮強度

橋梁名	示 方 配 合									圧縮強度とその変動係数			備 考
	設計強度 $\sigma_{28}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	単位水量 W (kg)	単位セメント量 C (kg)	水セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 細骨材量 S (kg)	単 位 量 粗骨材量 G (kg)	平均圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	標準偏差 (kg/cm <sup>2</sup> )	変動係数 (%)	
根岸線	400	25	2~5	143	400	35.7	37	660	1161	555 (151)	9.4	1.7	生コンクリート (早強) ボゾリス No. 5
第 1 和賀川	400	25	2~5	136.5	440	31.0	35	604	1132	491 (126)	35.3	7.2	普通セメント ボゾリス No. 5
鬼怒川	400	30	2~5	154	410	37.5	35	655	1210	599 (30)	28.0	4.7	早強セメント ボゾリス No. 8
小丸川	400	25	3~5	145	380	38.0	33	647	1294	483 (94)	29.4	4.3	早強セメント ボゾリス No. 5
吉井川A	400	40	3~5	137	380	36.0	30	大 134 小 402	1333	494 (31)	40.0	8.1	普通セメント ボゾリス No. 8
B	400	40	3~5	133	365	36.5	30	大 136 小 407	1360	491 (31)	45.0	9.2	"
C	400	40	2~4	133	350	38.0	30	大 109 小 442	1370	442 (26)	38.0	8.6	"
D	400	40	2~4	139	350	38.0	30	大 104 小 419	1370	445 (27)	31.5	7.1	"
八雲第二	400	25	2~3	164	420	39.0	33	615	1246	556 (90)	39.5	7.1	早強セメント 工場製作 ボゾリス No. 10
八雲第一 南辰巳町	400	25	3~4	164	420	39.0	33	615	1246	576 (34)	40.0	6.9	"

注：( ) は試験回数

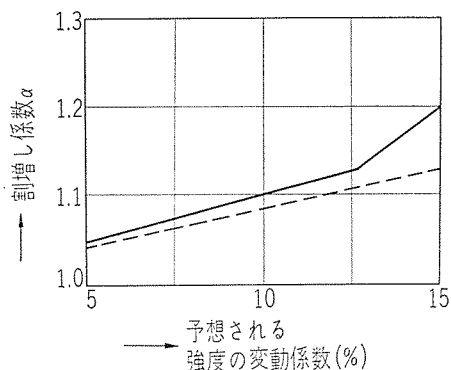
表二 PC 道路橋のコンクリートの示方配合と圧縮強度

橋梁名	示 方 配 合									圧縮強度とその変動係数			備 考
	設計強度 $\sigma_{28}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	単位水量 W (kg)	単位セメント量 C (kg)	水セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 細骨材量 S (kg)	単 位 量 粗骨材量 G (kg)	平均圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	標準偏差 (kg/cm <sup>2</sup> )	変動係数 (%)	
晴海棧橋	400	25	4~6	166	450	37.0	29.6	532	1278	478 (90)	27.5	5.7	早強セメント 使用
石川橋	400	25	3~4	170	450	38.0	37.3	655	1100	458 (183)	5.4	1.2	"
丹生川 大橋	400	25	0~3	160	420	38.0	34.8	672	1260	423 (45)	62.7	14.8	"
豊石橋	400	25	4~6	166	450	37.0	30.0	542	1266	536 (9)	17.7	3.3	"
荒川橋	400	25	0~3	157	450	35.0	34.2	635	1220	507 (135)	56.6	11.2	"
音威子府 橋	400	25	1~3	167	450	37.0	33.3	607	1214	470 (99)	33.0	7.0	"
駒岡橋	450	25	1~3	178	450	34.5	36.2	649	1143	521 (60)	13.7	2.6	生コン (早強) 使用 ボゾリス No. 5
町屋橋	400	25	3~5	169	470	36.0	34.0	606	1193	507 (86)	32.9	6.5	早強セメント 使用
白川橋	400	25	1~3	164	456	36.0	37.0	666	1123	506 (108)	23.1	4.56	"

注：( ) は試験回数

のものである。従来の土木学会の指針では、圧縮強度が、

図一 予想される強度の変動係数と割増係数との関係



許容限界以下にさがってよい確率を 1/20 としていたが、これでは、コンクリートの試験の結果を配合設計、施工管理に反映させるのに時期を失するおそれがあるので、PC 鉄道橋の指針では、圧縮強度が許容限界以下にさがってよい回数を 10 回に 1 回というように改めたので、その差異が 図一 にあらわれているのであるが、この点については品質管理の項で詳述することとする。

PC 用コンクリートの標準配合として適当なものは、概ね 表三 のとおりである。示方配合としては既往の資料も多く、たとえば 表一、二 の例を参考として検討のうえ決定するか、あるいは試験練りを行なって決定する。

(2) 混和材料

表-3 標準配合の例

設計強度 $\sigma_{28}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	粗骨材 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	単位セメ ント量 (kg)	混和剤	記事
400	25	3~5	350~430	必要に応じて 所要の品質の ものを選定す る	主桁コン クリート
300	25	5~7	300~350	"	その他

夏期にコンクリートを施工する場合、および部材の断面が大きい場合には、一般に単位セメント量を少なくし、できるだけ普通セメントを使用することが望ましい。適当な混和材料の使用は、コンクリートの性質を改善するのに役立つものである。とくにプレストレストコンクリートに用いるコンクリートでは、単位セメント量が多くなりがちであって、そのために、プレストレスを与える前にひびわれを生ずるおそれが大きくなり、プレストレスを与えた後も、コンクリートのクリープ、乾燥収縮によって、プレストレスの減少が大きくなる欠点もある。

これらの欠点を避けるため、すなわちコンクリートが過度に富配合となることを防ぐには、混和材料たとえば一般に良質のセメント分散剤を使用するのがよい。

またPC用コンクリートは、一般に単位セメント量が多いため、とくに夏期においてはセメントの凝結が早く生じ、コンクリートが生コン工場から運搬されるような場合には、現場に到着するまでにコンクリートのコンシステンシーがいちじるしく小さくなるようなことがあるが、そのようなおそれのある場合には、凝結遅延剤または、その効果のあるセメント分散剤の使用が望まれることがある。混和材料には、このほかにも普通の場合では得がたい各種の性質をコンクリートに与える目的のものがあるが、なかにはその効果はなほだ少ないものや、使用されるセメントの品質と合わないものもあるので、混和材料の使用に当っては、十分その効果を吟味しなければならない。また混和材料を使用する場合は、PC鋼材および、鉄筋に害がないということを確認してからでなければならない。

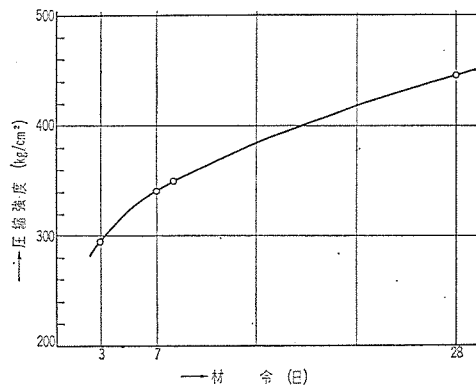
### (3) コンクリートの材令と圧縮強度

プレストレストコンクリート工事においては、表-1,2 でわかるように、材令 28 日の圧縮強度が設計強度にくらべて必要以上に高いものが多い。このことは、工期をとくに短縮する必要などから、材令 2~4 日でコンクリートの圧縮強度が 300 kg/cm<sup>2</sup>~350 kg/cm<sup>2</sup> に達するような配合を用いることが多いことによる。図-2 には表-1 に示す例のうち、吉井川橋梁のコンクリートについて、材令と圧縮強度との関係を示したものである。この橋梁の場合、十分に工期をとることができ

たので、普通ポルトランドセメント 350kg/m<sup>3</sup> を用いたため、プレストレスを与えるときのコンクリートの強度 350 kg/cm<sup>2</sup> に達するまでに 9 日以上養生期間を必要とした。

コンクリートのクリープの大きさは、有効プレストレスの算定に重要な値であって、PC鋼材緊張時のコンクリートの強性変形にクリープ係数を乗じて求めるのである。

図-2 吉井川橋梁におけるコンクリートの強度  
(第4連 32.7.23~32.8.2 施工)



るが、コンクリートの最終圧縮強度に対するPC鋼材緊張時のコンクリートの圧縮強度の比が大きいと、クリープ係数が大きくなって、有効プレストレスが減少する。

そのためPC設計施工指針 第44条解説では、プレストレスを与えてよい時期は、コンクリートの強度が所要の強度に達していることのほかに、材令 4~5 日以上ということを示している。

第一和賀川橋梁においても、普通セメントを使用した。この場合は、製作台において、PC桁をつぎつぎに製作する方法であり、コンクリートの十分な早期強度が得られなければ、それだけ製作台の回転速度が低下して工期が長くなる。第一和賀川橋梁工事においては、十分な工期をとることができたので、普通セメントを使用してPC桁を製作することが可能であったが、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 350 kg/cm<sup>2</sup> に達するまでに図-3のような材令を必要とした。すなわち、プレストレスを与えるまでに最小 10 日間を必要としている桁が多い。製作台においてPC桁を製作する場合、製作台の1回転に要する日数は、気温、PC桁の断面の大きさ、PCケーブルの本数、鉄筋の組立作業の難易、型わくの組立て、取外し作業の方法などによって異なるが、標準的な工程は図-4に示すようなもので、コンクリート打ち後プレストレスを与えるまでの日数を4日おくものとする、製作台の回転日数は10~12日程度である。したがって、プレストレスを与えるまでのコンクリートの養生を10日以上必要とすれば、製作台の回転速度は2/3あるいはそれ以下に低下す

図-3 第1和賀川橋梁工事におけるプレストレス導入までの日数

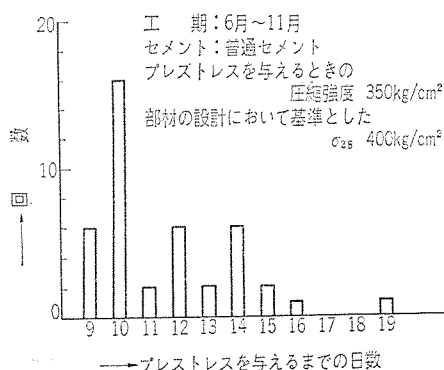


図-4 ポストテンション PC 桁標準工程 (ベース2基)

工種	日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
型わく組立 (片側)		■																						
鉄筋, シース配置			■																					
型わく組立				■																				
打設段取					■																			
コンクリート打ち						■																		
プレストレッシング																								
グラウチング																								
移 動																								

標準工程の条件  
季節：4～9月  
ベンチ基数：2基  
型わく組数：底板2組，側版1.5組

ベンチの回転：11日  
雨天，休日の余裕はふくまない

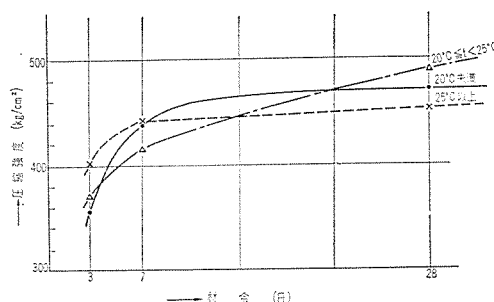
る。したがって十分な工期がある場合のほかは，より多くの製作台と，型わくとを準備しなければならなくなり工事費にかなりの影響を与えるものである。

小丸川橋梁においては，工事前に試験練りを十分に行なう時間的余裕がなかった，このため，最初のPC桁のコンクリートの配合は，それまでの他の工事現場における実績から，単位セメント量 450 kg/m<sup>3</sup>を使用した。そして徐々に単位セメント量を減らして行なったのである。単位セメント量を減らせるかどうかの判定を，さきに使用したコンクリートの材令 28 日における圧縮強度試験結果をまっけて行なうには，あまり時間がかかり過ぎるので，材令 7 日における圧縮強度試験結果によることにした。すなわち，材令 7 日において，コンクリートの圧縮強度が 400 kg/cm<sup>2</sup> に達することを確認したならば，その後のPC桁のコンクリートの単位セメント量を 10～20 kg/m<sup>3</sup> 減らすという方法を順次実施して行なった。そして 10 連目以降のPC桁は，単位セメント量 380 kg/m<sup>3</sup> の一定配合としたのである。この橋梁は，南九州の暖かい地方にあること，しかも工期の大部分が夏期にまたがっていることのために，あまり単位セメント量を大きくすることは，打込んだコンクリートの温度の

上昇を大きくし，ひびわれなどの有害な影響を与えるおそれがあるので，単位セメント量をできるだけ小さくする必要があった。

一方普通セメントを使用すると，工期が長くなるため，早強セメントを使用して，材令 28 日の圧縮強度があまり高くないような配合に導いた。このため，プレストレスを一度に与えようとする，製作台の回転速度が遅くなるので，プレストレッシングを2度にわけ，第1次のプレストレッシングは材令 2～4 日で，コンクリートの圧縮強度が 300 kg/cm<sup>2</sup> に達したときに行なうようにし，PC桁置場に仮移動し，材令 10 日以後に第2次のプレストレッシングを行なうようにしたのである。この操作によって，製作台の回転日数は 10 日となり，2 台の製作台で 5 日に 1 本の割合でPC桁を製作することができた。工期が半年以上にわたるため，季節によってコンクリートの圧縮強度の増進速度は多少異なっている。図-5 は，コンクリート打込み時の日平均気温によって 20°C 未満，20°C 以上 25°C 未満，および 25°C 以上の 3 種類にわけて，コンクリートの圧縮強度の増進の状態を示したものである。

図-5 小丸川橋梁工事現場におけるコンクリートの強度増進の状態 (打込時の気温との関係)



(4) 骨 材

PC用のコンクリートに用いる骨材は，鉄筋コンクリート標準示方書に適合するものであればよいが，なるべく少ない単位水量で所要のワーカビリティのコンクリートが得られるような粒度のものであることが望ましい。

近年PC橋のスパンの長大化にともなって，コンクリートの軽量化の必要を生じている。従来用いられてきた軽量コンクリートは，火山の噴出物を骨材として用いるものが多かったが，PC桁のような高強度のコンクリートに用いるには，骨材自体の強度が不十分であるので，最近，膨張性頁岩，粘土塊，フライアッシュ塊などを焼成した，比較的強度の大きい軽量骨材が使用され始めている。この種の骨材の性質や施工方法について土木学会に研究班が設けられて検討されているが，実際の構造物に適用するためには十分試験を行なって，その安全性を確かめておく必要がある。