

PC 用コンクリート

(3)

菅 原 操*

3. 圧縮強度によるコンクリートの管理

(4) コンクリートの簡易な管理試験方法

コンクリートの品質管理についての現行土木学会標準示方書は、材令 28 日における供試体の圧縮強度試験を規定している。供試体の大きさとしては、JIS A 1108 で、「直径の 2 倍の高さをもつ円柱形で、その直径は、粗骨材の最大寸法の 3 倍以上とし、粗骨材の最大寸法が、5 cm 以下の場合に対して 15 cm を標準とする」と規程されている。したがって、普通の鉄筋コンクリート工事では、直径 15 cm、高さ 30 cm の円柱形のものが標準供試体として多く用いられるのである。

供試体の寸法は、実物大に近い大きさの方が、実際の強度に近いものを表わすことは明らかであるが、このようなことは、実際面において不可能である。一方、骨材最大寸法が、所定の範囲内のものならば、直径 15 cm、高さ 30 cm の円柱供試体であれば、それより大きい供試体にくらべて、さほど異なった試験値をあらわさないことがわかっており、また直径と高さの比が 1:2 であるということは、支圧面におきる摩擦などの影響を、おおむね除去できる最少の高さのものであるとされており、この寸法の供試体を用いることは、アメリカにおける試験値とは直接比較でき、また欧州諸国における 20 cm 立方の供試体の試験値との換算方法も、多くの実績から求められているなどの利点があるのである。

また材令 28 日における圧縮強度を試験することは、論ずるまでもなく、最終強度を推定するための安定した試験値を得るために必要な最少期間であるからである。

しかしながら、この標準供試体による管理方法には、つぎの不便さもある。すなわち、

1) 圧縮強度が 300 kg/cm² 程度になると、通常用いられている容量 60 t 程度の可搬式の試験機では試験が不正確になり、容量 100 t または、それ以上の本格的な圧縮試験機が各現場に必要なことになる。このことは、小規模な山間の工事現場などでは、いちじるしく不便なことになる。

* 工博 国鉄建設局 技師

2) 圧縮強度試験の結果を知るまでに 28 日を要するので、それまではコンクリートの品質がチェックされないままに工事が進行してしまい、不適当なものが得られた場合でも、そのやり直しが容易でなくなる。

そのためには、一般には余裕のあり過ぎる配合が設計され、不経済なものとなる。

3) 間接試験であるので、実際の構造物がどの程度の強度を有するかということは不明である。

4) 供試体型わくの清掃運搬、供試体の製作、運搬なども、ある程度の手間が必要となり、また試験数量の多い場合には養生設備も大きなものが必要となる。

著者は、コンクリートの品質を確認するための基本的な方法としては、直径 15 cm、高さ 30 cm の標準供試体の、材令 28 日における圧縮強度試験によるとして、小規模の現場、あるいは試験所から遠い山間の現場などで、工事中のコンクリートの品質の変動を、簡易かつすみやかに把握し、管理して行くために、これに代わるべき適当な方法があるかどうかを検討するために、7 種類の試験方法について比較試験を行なった。

これらの試験方法を標準の試験方法と比較するために行なった、それぞれ 200 個の試験結果より表-7, 8, 9, 10 の結果を得た。

これらの表から見ると直径 10 cm、高さ 20 cm の円柱供試体の 28 日強度は、直径 15 cm、高さ 30 cm のものとよく一致している。また強度の変動係数も近似している。

材令 3 日および 7 日のものは、強度の変動が大きくな

表-7 生コンクリートの場合、標準値に対する他の試験値の相関係数

試験値の種類	相関係数 (r)	有意性の検定値 (t)
φ 10 cm × 20 cm σ ₂₈ 圧縮強度	0.87	15.6
σ ₇ "	0.57	6.1
σ ₃ "	0.37	3.5
4 × 4 × 4 cm σ ₇ "	0.49	4.94
φ 5 × 10 cm σ ₇ "	0.41	3.95
4 × 4 × 16 cm σ ₇ 曲げ強度	0.30	3.5
テストハンマー σ ₇ 圧縮強度	0.19	1.47

表-8 生コンクリートの場合、各試験方法による試験値の変動係数

試験方法	変動係数の範囲	変動係数の平均値
φ 15 × 30 σ ₂₈ 圧縮	6.7 ~ 9.2	8.3
φ 10 × 20 σ ₂₈ "	7.1 ~ 11.0	8.6
" σ ₇ "	8.9 ~ 11.2	10.2
" σ ₃ "	9.7 ~ 22.3	13.8
4 × 4 × 4 σ ₇ "	7.7 ~ 14.1	10.3
φ 5 × 10 σ ₇ "	7.7 ~ 14.3	10.7
4 × 4 × 16 σ ₇ 曲げ	6.9 ~ 12.4	9.2
テストハンマー σ ₇ 圧縮	7.3 ~ 25.0	16.1

表一9 現場練りコンクリートの場合、標準値に
対する他の試験値の相関係数

試験値の種類	相関係数 (r)	有意性の検定値 (t)
φ 10×20 cm σ_{28} 圧縮強度	0.76	11.0
σ_7 "	0.71	9.9
σ_3 "	0.65	8.43
4×4×4 cm σ_7 "	0.60	7.23
φ 5 cm×10 cm σ_7 "	0.62	7.83
4×4×16 cm σ_7 曲げ強度	0.61	7.47
テストハンマー 圧縮強度	0.40	5.11

表一10 現場練りコンクリートの場合、
各試験方法による試験値の変動係数

試験方法	変動係数の範囲	変動係数の平均値
φ 15×30 σ_{28} 圧縮	10~19	15.3
φ 10×20 σ_{28} "	12~19	15.6
" σ_7 "	17~28	21.4
" σ_3 "	18~30	23.5
4×4×4 σ_7 "	16~29	23.3
φ 5×10 σ_7 "	16~29	21.2
4×4×16 σ_7 曲げ	15~33	21.7
テストハンマー σ_7 圧縮	10~22	17.6

っている。しかしながら、これからある程度、28 日強度の推定が可能であると思われる。

コンクリートの管理は、圧縮強度とその変動をつかんで、これを目標強度および材料、計量、練り混ぜなどの製造過程の管理に反映させることが重要なのであるから、その品質のすう勢を早期に知ることが必要である。そのためそれぞれの工事現場において、あらかじめ試験練りを行なって、 σ_3 、 σ_7 と σ_{28} との大きさ、および、その変動の関係を求めておいて、材令 3 日あるいは 7 日における試験値を参考として管理して行くことが一つの方法である。

日豊本線小丸川 PC 橋の工事のときに試験した約 150 個の試験値から、大体つぎのような関係式が得られている。

$$\sigma_3 \text{ から } \sigma_{28} \text{ を推定する場合: } \sigma_{28} = 0.6 \sigma_3 + 255$$

(精度約 15% 単位 kg/cm²)

$$\sigma_7 \text{ から } \sigma_{28} \text{ を推定する場合: } \sigma_{28} = 0.6 \sigma_7 + 220$$

(精度約 15% 単位 kg/cm²)

$$\sigma_3 \text{ および } \sigma_7 \text{ から } \sigma_{28} \text{ を推定する場合: } \sigma_{28} = 0.4$$

($\sigma_3 + \sigma_7$) + 160 (精度約 10%, 単位 kg/cm²)

また日本セメント技術協会では、普通ポルトランドセメントを使用した、 $w/c=40\sim70\%$ 、スランプ 7.5~10 cm、粗骨材最大寸法 40 cm のコンクリートの数多くの試験から、つぎの関係式を得ている。

$$\sigma_{28} = 0.9 \sigma_7 + 10 \sqrt{\sigma_7}$$

またアメリカにおける実験結果でも、セメントおよび骨材の品種がおなじであれば、材令 3 日または 7 日の強

度と材令 28 日の強度とをあらかじめ試験して、両者の関係を求めておけば、早期強度試験結果から、ある程度正確に 28 日強度を予想できることが示されている。すなわち、あらかじめ $\sigma_e = \sigma_3 + 2\sigma_7/3$ を求めておき、 σ_e と σ_{28} との関係図を作ればよい精度で σ_{28} を推定できるとされている。 σ_3 および σ_7 は σ_{28} にくらべて変動係数が大きいのが普通であるので、この試験値で管理して行く場合には、いくら強度に余裕をもたせておくことが必要であり、またこの場合でも材令 28 日における強度による管理を行なわなければならないのである。

4. PC 用コンクリートの施工

(1) コンクリート打ちの計画と準備

コンクリート打ちに際しては、事前にコンクリートの打込み順序、打継目の処理の方法、コンクリートの練り混ぜ、打込み、運搬のための設備、型わく、支持台、支保工などについて施工計画をたて、十分検討しておくとともに、打込みのための準備を綿密に行なう必要がある。

コンクリート打ちの計画と準備のための一般的な注意事項は、つぎのようなものである。

a) コンクリートの打込み順序について

1) プレキャスト桁では、一般に全断面を片押しで打設する。

2) 桁高が特に高くない限り (約 3 m 以下)、上スラブとウェブは 1~2 時間の時間間隔をおいて一体に打った方がよい。

桁高がとくに高い場合、および一体に打ち込むことが不可能なときには、スラブとウェブとの打継目について検討しておくことが必要である。

3) 打継目の処理は、鉄筋コンクリート標準示方書第 51 条に示されているが、とくに打継目に引張力や、せん断力が働くときには、接着剤の塗布などの方法がとられる。

4) 打継目を設ける箇所は、できるだけ断面急変部をさけて、応力集中による弱点が生じないようにする必要がある。

b) 打設および運搬設備

1) コンクリート打ちに使用する内部振動機は、振動数 8000 rpm 以上で、十分の出力のあるもので、必ず適当数の予備のものを準備しておく。型わく振動機は、型わくの構造によって異なるが、振動数 3000 rpm 以上で、出力 1/2~3/4 HP 程度のもとし、1.2 m 以下の間隔で取りつけるのがよい。

2) コンクリートの運搬設備は、運搬機器とケーブル、タワー、足場などの仮設物とからなり、その種類と組合せ、配置などにつき、あらかじめ十分に検討してお

く必要がある。

3) コンクリートは、計画量を連続して打ち込む必要があるため、現場プラントの場合、混合、その他に故障の生じないように注意するのはもちろんであるが、生コンクリートを使用する場合には、とくにその運搬経路、作業時刻などを考えて、コンクリートのワーカビリティが余り変化したり、コンクリート打ちが中断されることのないように注意する必要がある。

コンクリートの運搬中にスランプがいちじるしく低下して現場に到着したときに、打ち込み困難な状態になったときには、そのコンクリートを摩擦すべきである。

c) プレキャスト方式による場合には、あらかじめ架設計画を立て、それに必要なつり金具などは、コンクリート打ちの際に同時に埋め込んでおくことが必要である。

(2) 鉄筋および PC 鋼材の加工と組立て

a) 鉄筋の加工と組立て

1) PC 用コンクリートは、一般に硬練りであって、これを強力なバイブレータを用いて締固めるので、鉄筋を組立て配置した後に、コンクリート打ちによって、その位置が狂わないように、十分に緊結しなければならない。

2) 鉄筋の組立てにスポット溶接を行なうことがあるが、スポット溶接を行なうと、鉄筋の破断強度が局部的に低下するので、設計上必要な鉄筋で、コンクリートの応力変動の大きい部分に配置されるものは、この方法によらず、結束線を用いて緊結すべきである。

3) なおスポット溶接を行なう場合、シースにアークで孔をあけたり、PC 鋼材にアークを飛ばさないように特に注意しなければならない。PC 鋼材に微細なアークが飛んでも、アークストライクと称する現象によって、PC 鋼材が緊張中に破断することがあるからである。

b) PC 鋼材の貯蔵と組立て

PC 鋼材は、鉄筋などの軟鋼にくらべて、腐食を受けやすいので、貯蔵に当たっては、必ず上屋を設け、さらに地面の湿気をシャ断できるような注意が必要である。

PC 鋼材の取扱いは丁寧に行ない、曲げたり、よじったりして、有毒なくせを生じさせないように注意し、また取扱い中にも、油その他の付着や、材質を害するようなものが、つかないようにしなければならない。

PC 鋼材の定着およびシースの接続部については、とくにペーストが流入したりして支障が生じやすいので、入念に施工する必要がある。PC ケーブル、鉄筋などをコンクリートブロックで支えて配置する場合には、そのブロックの品質は、桁本体と同等以上のものとし、使用にさしつかえない限り、小さなものとするのがよい。

(3) 型わくおよび支保工

1) 型わくは、コンクリート打ちその他により、変形することのないよう十分堅固なものでなければならない。型わくを木製にするか、鋼製にするかは、主として転用回数の多少による経済的な問題である。鋼製型わくは、木製型わくにくらべて、一般に振動の伝導性、強度、ペーストの流出の防護などの点ではすぐれているが、そのかわり、熱伝導度が高く、放熱が盛んに行なわれることは、むしろ欠点である。

PC 用コンクリートは、一般に鉄筋コンクリートにくらべて硬練りで、強力な振動機を使用して締固めるのが普通であるから、とくにコンクリートの打ち込みによって、型わくが狂わないようにしなければならない。

2) 型わくは、取外しに便利なものを使用し、側面型わくは、一般にコンクリート強度が 150 kg/cm^2 以上になれば、はずしてさしつかえない。

コンクリートは乾燥収縮によって縮まるが、この量は大きいたことはない。しかし、プレストレッシングによる弾性変形を拘束すると、正しい応力度が生じないので、型わく塗布剤などを使用して、できるだけ、付着力を少なくするか、または型わくの下に、コロや、ゴムパッキングなどを入れた構造にしておくことが望ましい。

3) プレストレスト コンクリートは、鉄筋コンクリートと異なり、鉄筋量が少なく、プレストレスを与えるまでは無筋コンクリートに近い状態にあるので、支保工については、とくにコンクリートを打込んだのち、プレストレスを与えるまでに沈下が生じたり、有害な変形を生じないように注意しなければならない。

4) PC 桁は、プレストレッシングによって、コンクリートが弾性変形を生じ、支持状態が変化するので、支保工の設計には、十分注意をする必要がある。プレストレッシングによって、弾性変形を生じて支点となる部分の型わく、および型わく受については、とくに変形、沈下のないように注意する必要がある。

(4) コンクリートの練り混ぜと運搬

1) コンクリートの練り混ぜには、可傾式ミキサを用いるか、または、必要に応じて強制かくはん式ミキサを用いるのがよい。

スランプ数 cm 以上のコンクリートの練り混ぜについては、可傾式ミキサで十分であるが、スランプ $3\sim 5\text{cm}$ 以下で、しかも単位セメント量が多くて、粘着性の大きい PC 用コンクリートでは、不傾式、可傾式をとわず、重力式ミキサでは、練混ぜの性能が低下するだけでなくコンクリートの強度が十分に発揮できなくなる欠陥を生ずる。

その解決策として、一つには、あらかじめセメントペ

ーストまたはモルタルを練り混ぜておいて、しかるのちに細・粗骨材、あるいは、粗骨材と混合する方法が検討されている。

この問題の解決のいま一つの方法が、強制練混ぜ式ミキサの採用である。もちろん、この両者を併用すれば、

さらに効果があがることは当然である。

強制練混ぜ式ミキサは、欧米においては、数種のものを用いられ、二、三のものは、わが国にも輸入されている（表-11）。筆者らは、国内メーカーの協力を得て、表-12 に示す3種の強制練りミキサの試作を行ない、実

表-11 国内で使用されている強制練りミキサ

項 目	番 号	No. 1	No. 2	No. 3
形 式		タービン式	タービン式	水平軸式 (パッグミル ミキサ)
容 量		0.35~2.0 m ³	0.5, 0.75, 1.0, 1.5 m ³	1~1.5 m ³
羽 根 の 数		6枚	6枚	シャフト2本 各12枚計24枚
羽根の回転数		40 r.p.m.	37, 25, 22, 20 r.p.m.	35 r.p.m.
主 電 動 機		11 kW~45 kW	15 kW, 22 kW, 30 kW, 38 kW	37.5 kW
動力の伝達方式		歯車	第1段 Vベルト 2段 歯車	Vベルト
備 考		スウェーデン・ハイマート社	呉造船, 西独 イーバク社と技術提携	東京衡機

表-12 試作ミキサの諸元

項 目	番 号	No. 1	No. 2	No. 3
形 式		タービン式	タービン式	プラネタリー式
容 量		0.5 m ³	0.5 m ³	0.5 m ³
羽 根 の 数		3枚	2枚	スクレーパー用2枚, 混練用3枚1組を2組
羽根の回転数		39 r.p.m	0~31 r.p.m	スクレーパー用 17 r.p.m, 混練用 自転 53 r.p.m, 公転 17 r.p.m
主 電 動 機		15 kW	30 kW	15 kW
伝 達 方 式		第1段 Vベルト 2,3 段歯車	油 圧	Vベルト
備 考		王子重工KKで試作	日曹製鋼KKで試作	山中重機KKで試作

用化のための試験を行なったが（写真-1）、その結果、強制練混ぜ式ミキサは、重力式ミキサにくらべて、短時間に硬練りコンクリートが一樣に練り混ぜられ、また練り上ったコンクリートの強度も、強制練混ぜ式ミキサによった方が高くなることを確かめた。これらのミキサは、細部については、なお改良の余地はあるが、今後さらに実用されるべきものと考えられる。

なお、一般にミキサに付属している各種の計器は、使用に先立って検定しておき、使用中においても、適宜検定を行なう必要がある。

2) コンクリートの運搬は、その所要時間をなるべく短縮するようにし、運搬途中でコンクリート中の水分の損失があったりすると、コンクリートのスランプの低下

写真-1 強制練りミキサの比較試験



がはげしく、打込みが困難となるので注意しなければならない。