

講座

PC 工事の施工管理について
(その 1. コンクリートの管理)

壬 生 幸 吉*

1 はじめに

コンクリートの管理は、ばらつきの少ない所要の品質を有するコンクリート構造物を造るために大切なことである。

現今ではコンクリート工事に使用されるコンクリートはレディミクストコンクリートが普通であるので、ここではコンクリートの材料の管理よりもコンクリートの品質管理およびコンクリートの作業・施工管理を主にして述べることとする。

最近、コンクリート構造の劣化を防止するための管理項目として「コンクリート中の塩化物総量規制」や「アルカリ骨材反応対策」に関する条項が土木学会示方書等に採り入れられ、かつ実施の段階にあるので、これらについても各々述べることとする。

2 管理作業の標準

日常および定期での材料およびコンクリートの試験の標準を表-1に示す。

3 コンクリートの品質管理

3.1 コンクリートの試験

(1) 工事開始前に行う試験

海砂その他の材料中の塩化物含有量試験、反応性骨材試験、材料の適否を定めるための試験、コンクリートの配合を定めるための試験等を行う。

(2) 工事中に主として行う試験

- a) スランプ試験
- b) 空気量試験
- c) コンクリートの圧縮強度試験
- d) フレッシュコンクリートの塩化物含有量試験

3.2 コンクリートの圧縮強度試験について

- 1) 供試体の寸法は $\phi 100 \times 200$ を標準とする。
- 2) 供試体採取の頻度および本数は表-2による。

3.3 管理図法

コンクリートの品質管理は、管理図によって行うのが有効である。以下に例題として、コンクリートの圧縮強度による管理図のつくり方、見方を述べる。

(1) 管理図データシート

コンクリートの品質管理を $X-R_s-R_m$ 方式によって行う。様式および記入例は表-3に示すとおりである。

(2) 管理図の作り方

手順 1 データシートに測定値を記入する

手順 2 代表値 x の計算

$$\text{代表値 } x = \frac{a+b+c}{n}$$

手順 3 移動範囲 R_s の計算

$$R_s = \text{隣り合った2個の } x \text{ の差}$$

手順 4 測定誤差に関する R_m の計算

$$R_m = 1 \text{ 組中の最大値と最小値の差}$$

手順 5 平均値 \bar{x} の計算

$$\bar{x} = \sum x/k$$

(k は組数, すなわち x の個数)

手順 6 移動範囲の平均 \bar{R}_s の計算

$$\bar{R}_s = \sum R_s / (k-1)$$

手順 7 測定誤差に関する範囲の平均 \bar{R}_m の計算

$$\bar{R}_m = \sum R_m / k$$

* ピー・エス・コンクリート(株)本社メンテナンス室

表-1 コンクリートの試験および頻度

定期試験管理項目			
種 類	試 験 項 目	試験基準規格	試 験 頻 度
骨 材	細骨材の比重および吸水率 粗骨材の比重および吸水率 骨材のふるい分け 骨材の洗い試験 骨材の単位容積重量および実績率 細骨材の有機不純物 ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり 硫酸ナトリウムによる骨材の安定性	JIS A 1109 JIS A 1110 JIS A 1102 JIS A 1103 JIS A 1104 JIS A 1105 JIS A 1121 JIS A 1122	1か月1回
	海砂中の塩分含有量	土 木 学 会 JIS A 5002	・海砂を用いる場合 1日1回 ・上記以外 1週1回
	骨材のアルカリシリカ反応	建設省暫定案	1) 産地が変わる都度 2) 監督員の要求
水	水質検査	水道法第4条	1か年1回
セメント	品質試験	JIS R 5210	1か月に1回 製造業者の品質証明書
混 和 剤	品質試験	JIS A 6204	〃
プ ラ ント	原器載荷による計量器の検定	計 量 法	1) 3か月に1回 2) 監督員の要求
	自動計量装置を用いた計量器の検査		1) 1か月に1回 2) 監督員の要求

日常管理試験項目

種 類	試 験 項 目	試験基準規格	試 験 頻 度	備 考
骨 材	骨材のふるい分け	JIS A 1102	細骨材 1日2回 粗骨材 1日1回	FMが0.2以上変わったら配合を修正する。
	表面水率	JIS A 1111	細骨材 1日2回	降雨による変化が生じたとき
JIS A 1125		粗骨材 1日1回	降雨による変化が生じたとき	
まだ固まらない コンクリート	スランプ	JIS A 1101	配合の異なる毎 最初の5台連続 以後 10 台毎	運搬によるスランプ低下をあらかじめ調べる。
	空 気 量	JIS A 1116 JIS A 1128 JIS A 1118	1) 10 台毎 2) 温度が急変したとき	ワシントン型エアメーターによっても良い。
		塩化物総量	建設省基準	1) 1工事1回以上 2) 打設量が少なく半日で終了する場合 1日1回 3) 打設が午前、午後にもたがる場合 2回以上(午前、午後) 4) コンクリートの種類別、出荷工場別に測定

注) レデーミクスト・コンクリート JIS A 5308 の規格では、荷卸し地点まで配達される生コンクリートについて規定したものである。生産者は、コンクリートの品質を保証するために下記の品質管理を行う。

なお、資料の採取は荷卸し地点とする。

1) 強度, 2) スランプ, 3) 空気量, 4) 塩化物総量

表-2

	主桁 1本当り	場所打ち 150m ² 当り
緊 張 時	3 本	3 本
材 令 28 日	3 本	3 本
予 備	3 本	3 本

手順 8 管理線の計算 (管理限界は 3σ 法とする)

1) \bar{x} 管理図の管理線

中 心 線 CL= \bar{x}

上方管理限界 UCL= $\bar{x}+2.66 \bar{R}_s$

下方管理限界 LCL= $\bar{x}-2.66 \bar{R}_s$

2) R_s 管理図の管理線

中 心 線 CL= \bar{R}_s

上方管理限界 UCL= $3.27 \bar{R}_s$

下方管理限界 LCL=(考えない)

3) R_m 管理図の管理線

中 心 線 CL= \bar{R}_m

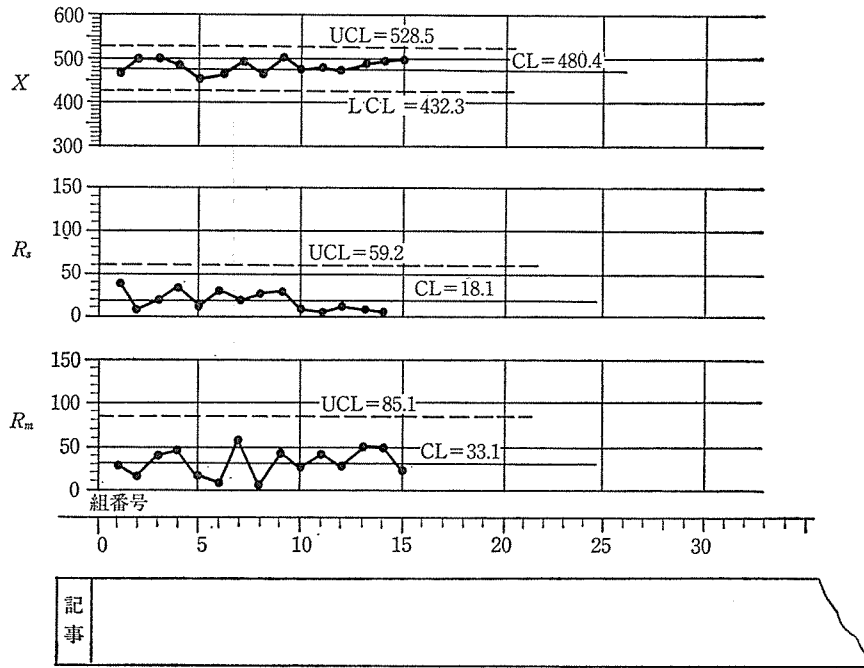


図-1 \bar{x} - R_s - R_m 管理図

表-3 \bar{x} - R_s - R_m 管理図データシート

使用箇所		工事名			請負者			
測定単位		試料大きさ			現場代理人			
設計基準値		測定機器名			測定者			
採取月日	試験日	測定値			計 Σ	平均値 \bar{X}	移動範囲 R_s	測定値の範囲 R_m $n=3$
		a	b	c				
		482	458	455	1395	465		27
		511	505	496	1512	504	39	15
		469	510	510	1489	496	8	41
		489	449	496	1434	478	18	47
		453	437	447	1337	446	32	16
		452	461	459	1372	457	11	9
		467	479	527	1473	491	34	60
		474	467	472	1413	471	20	7
		493	524	476	1493	498	27	48
		479	476	451	1406	469	29	28
		495	449	492	1436	479	10	46
		478	459	488	1425	475	4	29
		481	466	515	1462	487	12	49
		478	524	476	1478	493	6	48
		510	484	498	1492	497	4	26
		計				7206	254	496
\bar{x} 管理図		R_s 管理図		R_m 管理図	$\bar{x} =$	$\bar{R}_s =$	$\bar{R}_m =$	
CL = 480.4		CL = 18.1		CL = 33.1	480.4	18.1	33.1	
UCL = 528.5		UCL = 59.2		UCL = 85.1				
LCL = 432.3		LCL = —		LCL = —				

記事

上方管理限界 $UCL = D_4 \cdot \bar{R}_m$

下方管理限界 $LCL = (\text{考えない})$

D_4 は n によって決まる常数で、 $n=3$ の時 $D_4=2.57$

手順 9 管理図用紙に管理図の記入 (図-1)

上から順に \bar{x} , R_s , R_m の管理図を書く。

(3) 管理線の検討

原則として記入した点が管理限界内にあれば、工程は安定状態にあるものと判定し、そのまま工事を続行する。点が管理限界の外に出たら、工程に異常な原因があるものと判定し、原因を調査し処置する。

4

コンクリート中の塩化物総量規制

コンクリート中の鉄筋は、通常、コンクリートの強アルカリ性 ($\text{pH} \approx 12.5$) によって不動態化され、腐食から保護されているが、コンクリート中に一定量以上の塩化物が存在する場合は、塩素イオンの作用によって腐食が進行する。

このため、コンクリート中の塩化物量は、鉄筋腐食のおそれのない値以下に、あるいは腐食を生じさせてもそれが構造物の機能や寿命を低下させないような値以下に制限する必要がある。そこで従来から、細骨材の塩化物含有量に制限が設けられてきたが、それでは十分ではなく、練りませ水、混和材料や、セメント等からももたらされる塩化物量があるため、最近、我が国では練りませ時におけるコンクリート中の塩化物含有量の総量の規制値が設けられた。土木学会示方書、日本建築学会 JASS 5 および JIS A 5308 「レディーミクスト」のいずれにおいても、その表現は異なるが、コンクリート中に含まれる塩化物量は、全塩素イオン重量として、例えば土木学会示方書では、一般の鉄筋コンクリートおよびポストテンション方式のプレストレストコンクリートの場合は、 0.60 kg/m^3 以下、耐久性を要求される鉄筋コンクリートやポストテンション方式のプレストレストコンクリートで、塩害や電食のおそれのある場合およびプレテンション方式によるプレストレストコンクリートの場合は、 0.30 kg/m^3 以下とし、また JASS 5 では耐久性を確保するためには 0.30 kg/m^3 以下、鉄筋防錆上有効な対策を講じれば 0.60 kg/m^3 以下、JIS A 5308 では荷卸し地点で 0.30 kg/m^3 以下、購入者の承認があれば 0.60 kg/m^3 以下などと規定している。

このため、海砂を使用する場合はもちろんのこと、その他の場合でも練りませ時におけるコンクリート中の塩化物量を試験してその管理を行わなければならない。このための試験方法としては、(財)国土開発技術研究セン

ターの技術評価をうけた塩化物量測定器を用いているのが一般的である。

次に現場配合のコンクリートの練りませ時の全塩素イオン重量の計算例を示す。

(各材料中の全塩素イオン量)

セメント 0.01%

水 200 ppm

海砂 0.02% (NaCl 換算で 0.03%)

砕石 なし

混和剤 1.0%

(各材料から供給される全塩素イオン重量)

セメントから

$$415 \text{ kg/m}^3 \times 0.01 \times 10^{-2} = 0.042 \text{ kg/m}^3$$

水から

$$166 \text{ kg/m}^3 \times 200 \times 10^{-6} = 0.033 \text{ kg/m}^3$$

海砂から

$$745 \text{ kg/m}^3 \times 0.02 \times 10^{-2} = 0.149 \text{ kg/m}^3$$

混和剤から

$$4.15 \text{ kg/m}^3 \times 1.0 \times 10^{-2} = 0.042 \text{ kg/m}^3$$

(合計 全塩素イオン重量) = 0.266 kg/m^3

この計算結果は 0.3 kg/m^3 以下を満足するコンクリートということになる。

5

アルカリ骨材反応対策

コンクリートのアルカリ骨材反応は、セメント中のアルカリ分と骨材中にある成分が反応を起こして膨張を生じ、ひびわれなどの被害をコンクリート構造物に引き起こすものである。

従来我が国にはアルカリ骨材反応はほとんどないとされていたが、良質の河川砂利の枯渇によって、これまで使用されたことのない骨材を使わざるを得なくなったことに加え、セメントの品質の変動、種々の要因の影響によるものと考えられる。

コンクリートの構造物の実態調査によりアルカリ骨材反応によると思われる損傷がみられる構造物は、一部の地域ばかりでなく、全国的に存在する可能性が明らかになった。そのため、昭和 61 年に建設省では、アルカリ骨材反応の暫定対策を設定したので、その内容を以下に示す。

土木構造物、建築物およびコンクリート工場製品に使用するコンクリートは、アルカリ骨材反応を抑制するため、次の対策の中のいずれか一つをとらなければならない。

1) 安全と認められる骨材の使用。

骨材のアルカリ・シリカ反応性試験 (化学法または

◇講座◇

モルタルバー法)^{注)}の結果で無害と確認された骨材を使用する。

2) 低アルカリ形セメントの使用

JIS R 5210 ポルトランドセメントに規定された低アルカリ形セメントに適合したセメントを使用する。

3) 抑制効果のある混合セメント等の使用

JIS R 5211 高炉セメントに適合する高炉セメント [B種 (スラグ率50%以上のものが望ましい) またはC種] あるいは、混和材を混合したセメントでアルカリ骨材反応抑制効果の確認されたものを使用する。

4) コンクリート中のアルカリ総量の抑制

アルカリ量を表示されたポルトランドセメント等を使用し、コンクリート 1m³ に含まれる総アルカリ量を Na₂O 換算で 3.0 kg 以下にする。

なお、海水または潮風の影響を著しく受ける海岸付近において、2)、3) または 4) のいずれかの対策をとる場合で、アルカリ骨材反応による損傷が構造物の安全性に重大な影響を及ぼすと考えられる場合には、塩分の浸透を防止するための塗装等の措置を講ずることが望ましい。

6

流動化コンクリート

土木学会の「流動化コンクリートの施工指針(案)」では、流動化コンクリートを「あらかじめ練りまぜられたコンクリートに流動化剤を添加し、これを攪拌して流動性を増大させたコンクリート」と定義している。コンクリートの品質を低下させることなく、施工性を改善する技術として、わが国において、流動化コンクリートの適用が近年増加の傾向にある。

土木学会の指針(案)では、流動化コンクリートのスランプは原則として 18 cm 以下とし、スランプの増大量は 10 cm 以下 5~8 cm を標準とするとしている。また添加される流動化剤は通常、セメント量の 0.5~1% 程度以下である。

流動化コンクリートの製造は、一般的にはベースコンクリートを現場までトラックアジテータで運び、打込み直前に流動化剤を添加し流動化することが多い。

流動化コンクリートの品質管理の要点を以下に示す。

- 1) 流動化剤は土木学会規準「コンクリート用流動化剤品質規準」に適合しているものを使用すれば良いが、流動化剤の種類により、ベースコンクリートのスランプ、添加量、攪拌速度および時間等により、流動化効果に差があるので、流動化剤の性能を十分

注) ASTM C 289「骨材の潜在反応性試験方法(化学法)」または ASTM C 227「セメント骨材の潜在反応性試験方法(モルタルバー法)」

に確認したうえで使用すること。

- 2) 流動化剤の流動化効果はベースコンクリートの練り上がり直後から 60~90 分程度までは変わらないが、スランプ低下は添加時期が遅れるほど大きくなる傾向にあるので注意が必要である。
- 3) 流動化コンクリートのスランプ低下は、温度が高くなるほど大きくなる傾向があるので、特に夏季の使用時には十分な注意が必要である。
- 4) 流動化剤を他の混和剤と併用する場合、その影響を事前に確認する必要がある。
- 5) 流動化剤の添加後早めに打込みを行うことが望ましいが、なんらの理由により打込みが遅延し、流動化コンクリートのスランプが著しく低下した場合は、流動化剤の再添加を行う。しかし再流動化は材料分離、コンクリートの耐久性、長期強度に悪影響を及ぼすことが考えられるので、土木学会では、責任技術者の承諾を得たうえで、1回に限り認めている。

7

ひびわれ対策

耐久性の高い鉄筋コンクリート構造物を造るためには、材料、設計、施工などのすべてにわたって、十分な注意と検討が必要であるが、一方、耐久性の高いコンクリート構造物とは、ひびわれの無い(または少ない)構造物のことである、と言っても過言ではない。

古来、「コンクリートはいかにあるべきか」の問に対して「練りまぜにあたっては、できるだけ水を少なく、打込みには十分な締固めを、硬化後は十分な湿潤養生を」と言われて来たが、ひびわれの主な原因が乾燥収縮と温度応力であることを考えると、ひびわれ防止対策の大部分は、この基本理念の中に言われていると思われる。

今日では、前述した塩化物による鉄筋の発錆やアルカリ骨材反応など、ひびわれの原因も多様化、複雑化しているが、ひびわれ防止対策の基本のいくつかを、以下に示す。

- 1) 単位水量を少なくし、かた練りコンクリートを用いて、乾燥による収縮量を少なくする。
- 2) 単位セメント量を減らして発熱を減少させる。
- 3) 材料を冷却するなどして、コンクリートの打込み温度をできるだけ下げる。
- 4) クーリングを行って内部温度の上昇をおさえる。
- 5) 空気が乾燥して風の強い暑い日の施工を避ける。
- 6) 打込み時に、仕上げ直後の乾燥を防止する。
- 7) 仕上げ前に再振動締固めを行う。

- 8) 部材の高さの3~4倍の間隔で収縮目地を設ける。
9) 支保工および型枠の沈下を少なくし、また沈下を考慮した施工法をとる。

8

コンクリートの打込み・締固め・養生

コンクリート構造物に生じる、ひびわれはもとより、ジャンカ、コールドジョイント等の欠陥は、経年により、やがてはその構造物の耐力を減少させ、寿命を縮める原因となる場合がある。

適切な設計を行い良質な材料を用いて、さらに最終段階であるコンクリートの打込み、締固め、および養生の管理が十分であれば、耐久性の高い構造物を造ることができる。

土木学会の「コンクリートのポンプ施工指針(案)」と「コンクリート標準示方書」から、コンクリートの打込み、締固め、養生の要点を抜すいし以下に示す。

(1) コンクリートの打込み

- ① コンクリートの打込みに際しては、計画した圧送量のコンクリートの打込み、締固め作業が確実に、しかも連続的に行えるよう、適切な人員および器具の配置を行わなければならない。
- ② 打込み中、配管先をしっかりと保持し、鉄筋、型枠、埋設物等不要な箇所へコンクリートが飛散しないように注意しなければならない。
- ③ 配管先端の移動は、圧送を一時停止して行うとともに、移動中にコンクリート、骨材などが落下しないように注意して行うものとする。
- ④ ブリージング水は極力これを取り除き、コンクリートを打ち込むものとする。
- ⑤ 打込み高さが高く、2層以上でコンクリートを打ち込む必要がある場合にはコールドジョイントができない範囲内で層状に打ち込んでいくものとする。
- ⑥ 配管先端からコンクリートの打ち込み面までの高さは、できるだけ小さくしなければならない。
- ⑦ スラブまたは梁のコンクリートが壁または柱のコンクリートと連続して打ち込まれる場合は、沈みひびわれを防止するために、壁または柱のコンクリートの沈下が落ち着いてから、スラブまたは梁のコンクリートを打ち込むものとする。
- ⑧ 打込み順序および速度は、型枠、支保工に過大な側圧あるいは変形を与えないように管理しなければ

ならない。

(2) コンクリートの締固め

- ① コンクリートの締固めには、内部振動機を用いることを原則とし、薄い壁など内部振動機の使用が困難な場所には型枠振動機を使用してもよい。
- ② 内部振動機によりコンクリートを横移動させてはならない。
- ③ 振動締固めにあたっては、振動機を下層のコンクリート中に10cm程度そう入しなければならない。

(3) コンクリートの養生

- ① コンクリートは、打込み後、硬化が始まるまで、日光の直射、風等による水分の散逸を防がなければならない。
- ② 表面をあらさないで作業ができる程度に硬化したら、コンクリートの露出面は養生用マット、布等をぬらしたもので、これを覆うかまたは散水、湛水を行い、湿潤状態に保たなければならない。湿潤状態に保つ期間は、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメントを用いる場合、それぞれ5日間以上および3日間以上を標準とする。
- ③ せき板が乾燥するおそれのあるときは、これに散水しなければならない。
- ④ 膜養生はコンクリート表面の水光りが消えた直後に膜養生剤をむらのないよう散布しなければならない。散布は方向を変えて2回以上行うのが普通である。

9

おわりに

近年、特に高度成長期以後に施工されたコンクリート構造物の早期劣化の問題がクローズアップされてきている。塩害やアルカリ骨材反応による劣化は別としても、コンクリートの管理が十分でなかったことが起因で劣化を早めていると思われるケースも多い。

“良いコンクリートで良い構造物”を造るためにコンクリートの管理は大切なことである。

本稿はコンクリートの管理についての概略を述べたにすぎないが、参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 岡田 清：「コンクリートの管理」セメント協会
- 2) 土木学会：「コンクリート標準示方書」(昭和61年制定)
- 3) 秋草、深谷、横田、中村：「工事管理と実際」山海堂