

コンクリート構造物における品質管理の取り組みについて

辰見 彰啓¹

¹近畿地方整備局 近畿技術事務所 品質調査課 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1)

社会資本の管理においては、限られた予算の中で土木構造物の長寿命化を図ることが、大きな課題のひとつとなっている。コンクリート構造物の長寿命化を図るためには、コンクリートの品質管理が重要となる。そのため、近畿技術事務所では、平成15年度より荷下ろし場におけるレディミクストコンクリートの単位水量測定を行っている。また、コンクリートの乾燥収縮に起因するひび割れに関する研究の一環として、実物大供試体を用いた乾燥収縮ひずみの計測を行っている。さらに管内の工事において、技術的な課題が発生した場合には、原因調査、対応案の検討等の技術的支援を行っている。本論文は、これらコンクリート構造物における品質管理に関する取り組みをまとめたものである。

キーワード 品質管理、単位水量測定、乾燥収縮ひずみ、技術的支援

1. はじめに

インフラが整った現在、社会資本整備事業において、限られた予算の中で土木構造物の長寿命化を図ることは、大きな課題のひとつである。コンクリート構造物の長寿命化を図ることにおいては、構造物の新設時におけるコンクリートの品質確保が重要である。平成15年10月には、荷下ろし場におけるレディミクストコンクリートの単位水量測定の実施に関する本省通達（請負者に対する測定の義務づけ）が発出された。それを受け、近畿地方整備局では、独自の取組として発注者による単位水量測定を実施しており、近畿技術事務所がこれを行っている。

また、近畿地方整備局管内では、垂井高架橋で確認されたように、近年、ある種の骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮に起因するひび割れの発生が問題となっている。その問題解明の取り組みのひとつとして、近畿技術事務所において、実物大供試体を用いた乾燥収縮ひずみの計測やひび割れの確認を行っている。

さらに近畿地方整備局管内の工事において、技術的な課題が発生した場合、円滑な事業執行に資するため、近畿技術事務所では、原因調査から対応案の検討まで、速やかな技術支援を行っている。

2. コンクリート構造物における品質確保の取り組み

2.1 レディミクストコンクリートの単位水量測定 (1) W/Cミータによる単位水量測定結果

近畿技術事務所では、平成15年度から単位水量測定を継続しており、各事務所の協力によりW/Cミータ法による測定を、11年間で254工事において計675回実施

した。また、平成21年度以降は、単位水量測定手法による測定結果の相違を検討するために、W/Cミータ法に加えエアメータ法（土研法）による測定を行っている。

近畿地方整備局管内で主に利用されている単位水量測定手法とその誤差要因について表1に示す。

表1 近畿地方整備局管内で主に用いられる単位水量測定手法と誤差要因

測定手法	主な誤差要因
加熱乾燥法 (電子レンジ法) (W/Cミータ) 【モルタル】	・細骨材の吸水率が真値と異なる ・骨材の過大粒、過小粒の値が真値と異なる ・ウェットスクリーニングによる水量補正が適切でない (試験練りによる確認不足)
エアメータ法 (W-Checker) (土研法) 【コンクリート】	・骨材の密度が真値と異なる ・骨材の過大粒、過小粒が多い ・粗骨材量のバラツキが大きい(試料採取方法が適切でない) ・測定空気が真値と異なる(キャリブレーション不足)

配合設計値と測定単位水量との関係を図-1に、管理結果の分布を図-2に示す。測定結果は、配合設計値以上の割合が全体の64.7%、配合設計値と等しい値の割合が0.4%、配合設計値以下の割合が34.8%であり、全体的にやや配合設計値よりも高めの傾向にある。

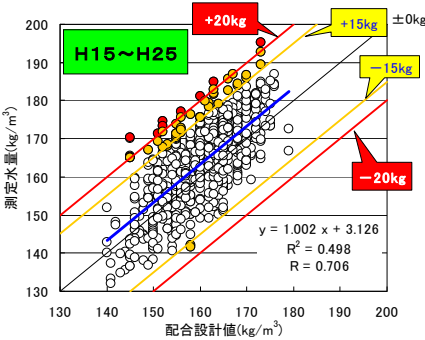
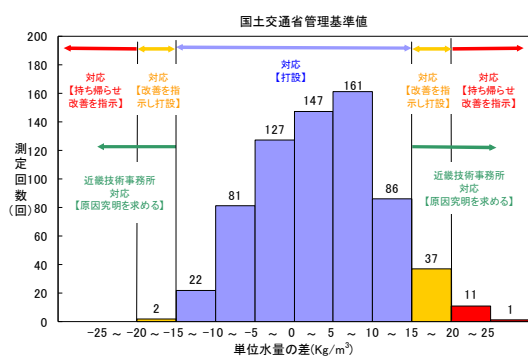


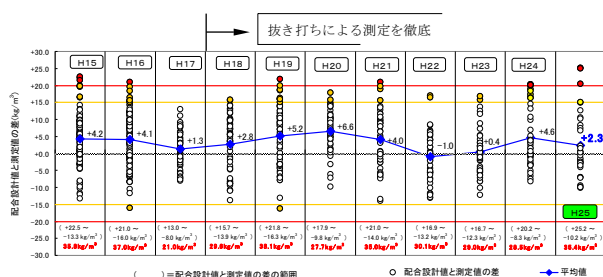
図-1 配合設計値と測定単位水量との関係



図－2 管理結果の分布

配合設計値と測定水量の差（年推移）を図－3に示す。平成 15 年度及び平成 16 年度は、単位水量測定を実施して間もない時期であったために、配合設計値と測定値の差が大きい、測定実施から 3 年目の平成 17 年度には設計値との差が 21.0kg/m³ と最も小さくなっている。ただし、平成 15 年から 17 年までの 3 年間は、請負者に対して事前に告知した上で測定を実施している。

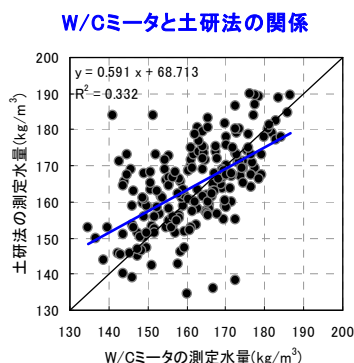
平成 18 年度以降は請負者に事前告知することなく、抜き打ちで単位水量測定を実施している。そのため、設計値との差が再び増加傾向となるなど、現場によってコンクリートの品質管理に対する意識の差がみられた。



図－3 配合設計値と測定水量の差（年推移）

(2) 測定水量差

平成 21 年から平成 25 年までの W/C ミータとエアメータ法（土研法）による測定水量の関係を図－4に示す。図－4に示す通り、両手法による測定結果には差が認められるが、これは表－1に示す測定手法ごとの誤差要因の影響等が考えられる。



図－4 W/C ミータと土研法の関係

(3) まとめ

単位水量測定は、手法ごとに留意点が存在し、各々で測定に関する誤差要因が認められる。請負者による単位水量の管理状態を確認するためには、監督職員が測定手法の特徴をよく理解した上で、適切に監理することが重要である。近畿技術事務所では、単位水量測定に赴いた際には、監督職員に対して単位水量測定上の留意点等についての助言を行っている。

2. 2 実物大供試体を用いた乾燥収縮ひずみの計測

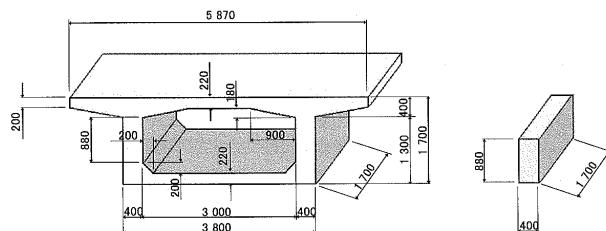
(1) 目的

近年、近畿地方整備局管内において、コンクリートの乾燥収縮ひずみが大きくなる骨材を使用したコンクリート構造物の不具合に関する事例が報告されている。紀北東道路の橋梁において、過年度にコンクリート構造物に不具合を起こしたものと同種の、コンクリートの乾燥収縮ひずみが大きくなる骨材を使用する可能性があったため、平成 21 年 2 月に京都大学宮川教授を委員長とする「京奈和自動車道紀北東道路に使用する生コンクリートの品質確保に関する検討会」が開催され、実構造物とそれを模した実物大供試体を作成し、5 年間、ひずみや水分量、温度等コンクリートの乾燥収縮ひずみに関するデータを測定することとなった。

実物大供試体については平成 22 年 12 月より設置されており、当初は実橋付近のヤードに設置していたが、紀北東道路が開通を控えていたため、平成 24 年 2 月より当事務所に移設して測定を行っている。

(2) 供試体の形状と寸法

供試体は、実橋の A2 橋台と中間横桁間の中間部と同一断面のタイプ（箱桁供試体と称する）、およびウェブ部分のみを切出したタイプ（角柱供試体と称する）の 2 種類とし、断面と直交方向の長さ（橋軸方向長さ）は桁高と同じ 1,700mm とした（図－5、写真－1）。



図－5 供試体寸法（左：箱桁、右：角柱）(mm)¹⁾



写真－1 供試体設置状況

(3) 実物大供試体概要

供試体作成には、呼び方が「普通 36-12-20H」のレディーミクストコンクリートを使用した。細骨材には海砂および砕砂を用い、粗骨材には JIS 試験でのコンクリートの乾燥収縮ひずみが大きくなる硬質砂岩碎石 (G1) と、乾燥収縮ひずみが標準的である石灰石碎石 (G2) を用いた。配合一覧表を表-2 に、各配合での乾燥収縮ひずみと自己収縮ひずみを表-3 に示す。表-2 における配合 No.1 は粗骨材に G1 を用いたもの、配合 No.2 は粗骨材に G2 を用いたものである。また、配合 No.3 は粗骨材に G1 を使用し、膨張材および収縮低減剤の混和により JIS 試験における乾燥収縮ひずみを減少させたものである。

測定用供試体は、箱桁供試体を 2 体 (Model-A, B) (配合 (粗骨材) の相違)、角柱供試体を 5 体 (Model-a~e) (配合、鉄筋比の相違) 作成しており、各供試体の仕様は表-4 の通りである。

表-2 配合一覧表 (36-12-20H) ¹⁾

配合 No.	粗骨材の最大寸法 Gmax (mm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
					水 W	セメント C	混和材料 EX, RA	細骨材		粗骨材
								S1	S2	G1 G2
1	20	43	4.5	41.9	165	384	-	508	217	1020 -
2				42.8				519	222	- 989
3				43.6	160	352	26	535	229	989 -

表-3 乾燥収縮ひずみと自己収縮ひずみ ¹⁾

材齢26週 (単位: $\times 10^{-6}$)	乾燥収縮ひずみ	自己収縮ひずみ
配合 No.1 (収縮大)	923	146
配合 No.2 (収縮標準)	539	96
配合 No.3 (収縮標準+混和材料)	706	-180

表-4 各供試体の仕様 ¹⁾

形状	Model	配合	ウェブ配筋	混和材料	諸条件
箱桁供試体	A	No.1	D13@250	無添加	収縮大
	B	No.2	D13@250	無添加	収縮通常
角柱供試体	a	No.3	D13@250	膨張材+収縮低減剤	収縮大+混和材料
	b	No.1	D13@250	無添加	収縮大
	c	No.2	D13@250	無添加	収縮通常
	d	No.2	D22@125	無添加	収縮通常で鉄筋量6倍
	e	No.2	無筋	無添加	収縮通常で無筋

(4) 長さ変化測定

箱桁供試体 (Model-A, B) における長さ変化測定位置を図-6 に示す。

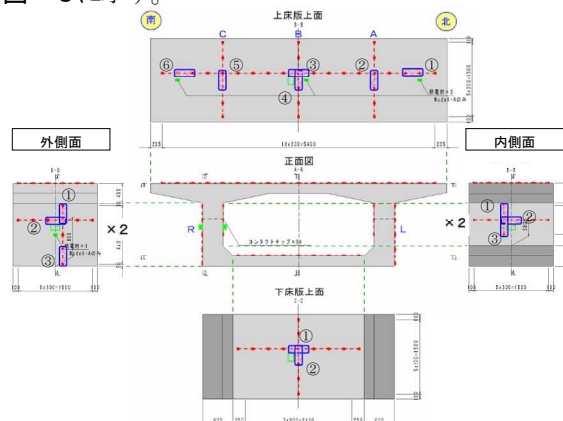


図-6 長さ変化測定位置図【箱桁供試体 Model-A, B】

箱桁供試体 (Model-A, B) の上床版およびウェブにおけるホイットモア測定によるひずみ変化量結果を図-7 ~ 10 に示す。図-7 ~ 10 は、供試体作成後593日目における測定値を基点として、各測定日における長さ変化の値を、測定時の測定箇所表面のコンクリート温度等を考慮してひずみ変化量として換算したものをグラフ化し、推移図として表したものである。

図7, 8の比較および図9, 10の比較から、上床版、ウェブともに、箱桁供試体 Model-A のひずみ変化量の変動幅が、Model-B に比べてわずかに大きいものの、両者のひずみ変化量の推移に大きな差はみられないことが分かる。

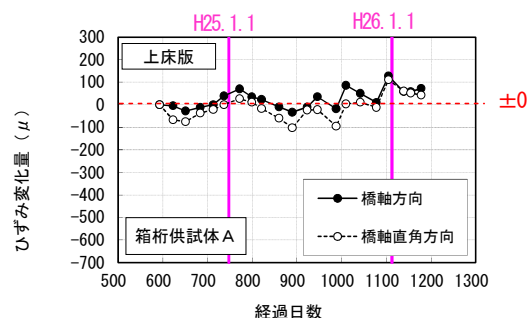


図-7 ホイットモア測定によるひずみ変化量【箱桁供試体 Model-A 上床版】

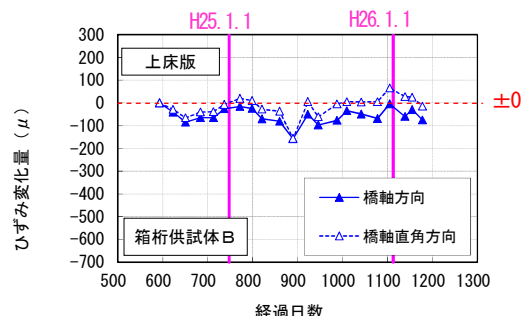


図-8 ホイットモア測定によるひずみ変化量【箱桁供試体 Model-B 上床版】

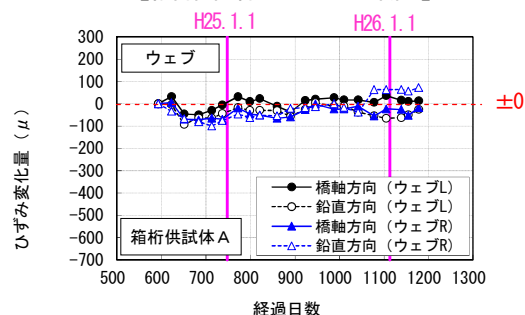


図-9 ホイットモア測定によるひずみ変化量【箱桁供試体 Model-A ウェブ】

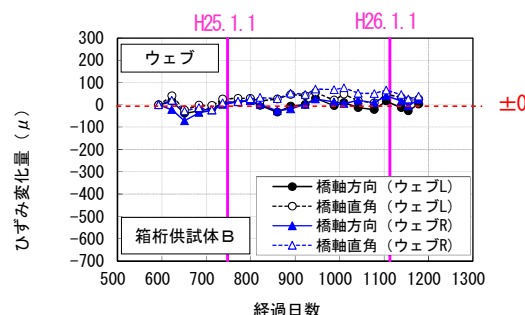


図-10 ホイットモア測定によるひずみ変化量【箱桁供試体 Model-B ウェブ】

(5) コア採取によるひび割れ深さの確認

箱桁供試体より採取したコア供試体の目視観察によるひび割れ深さ(長さ)計測結果を表-5に示す。確認方法は、アセトン塗布による目視および蛍光浸透探傷剤塗布後、ブラックライト照射による目視の観察とした。

表-5 目視観察によるひび割れ深さ

	部位	記号 (ひび割れNo.)	目視観察によるひび割れ深さ(長さ)	
			アセトン使用	ブラックライト使用
箱桁A	上床版	US_A_1	48mm	133mm
		US_A_2	45mm	133mm
		US_A_3	7mm	27mm
	ウェブ	W_A_1	63mm	85mm
		W_A_2	38mm	71mm
		W_A_3	35mm	62mm
箱桁B	上床版	US_B_1	確認不可	20mm
		US_B_2	0mm(表面のみ)	0mm(表面のみ)
		US_B_3	0mm(表面のみ)	0mm(表面のみ)
	ウェブ	W_B_1	0mm(表面のみ)	0mm(表面のみ)

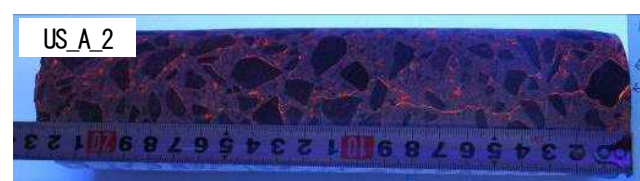


写真-2 ブラックライト照射によるひび割れ目視観察結果
(Model-A 上床版 ひび割れ No. 2)



写真-3 ブラックライト照射によるひび割れ目視観察結果
(Model-B 上床版 ひび割れ No. 2)

箱桁供試体Model-A、Bともに供試体表面に目視で確認できるひび割れは、ひび割れ幅が0.05mm~0.1mm程度の微細なものであったが、ブラックライト照射による目視観察により、コンクリートの乾燥収縮が大きくなる粗骨材G1を用いた箱桁供試体Model-Aでは、ひび割れが陥材深部まで達していることが確認できた(表-5、写真-2)。一方、コンクリートの乾燥収縮が標準的な粗骨材G2を用いた箱桁供試体Model-Bでは、ひび割れの深さ方向への進展はほとんどないことが確認できた(表-5、写真-3)。

(6) まとめ

箱桁供試体Model-Aでは、箱桁供試体Model-Bに比べて供試体表面に生じたひび割れ本数が多く、コア供試体による観察で明らかのように、ひび割れ深さも深かった。

一方で、箱桁供試体Model-AとModel-Bでホイットモア測定によるひずみ変化量に大きな差はみられなかった。

このことより、箱桁供試体Model-Aでは、供試体内部に生じた無数のひび割れの影響で、表面の大きな収縮ひずみが解放され、断面の平均的な収縮ひずみが低下したことが推察される。

今後は、ひずみ変化量の測定を継続するとともに、本実物大供試体を用いて、透気試験や透水試験等、非破壊で実構造物の品質確認ができる検査方法(比較的新しい技術について)の有効性を確認していく方針である。

2. 3 近畿地方整備局管内の工事における技術的依頼

近畿技術事務所では、近畿地方整備局管内の工事において技術的な諸問題が生じた際、工事を管轄する事務所および出張所からの依頼のもと、問題の原因推定や対策案についての助言、あるいは参考資料の提供等、様々な技術的支援業務を行っている。

例えば、過年度には、図-11に示すような橋台底版部および堅壁部に生じたひび割れについて、現地での聞き取り調査や目視調査を行い、現地調査の結果を踏まえた上で、机上調査によるひび割れ発生原因の推定を行い、補修の可否や緊急性の有無についての技術的見解を助言した。

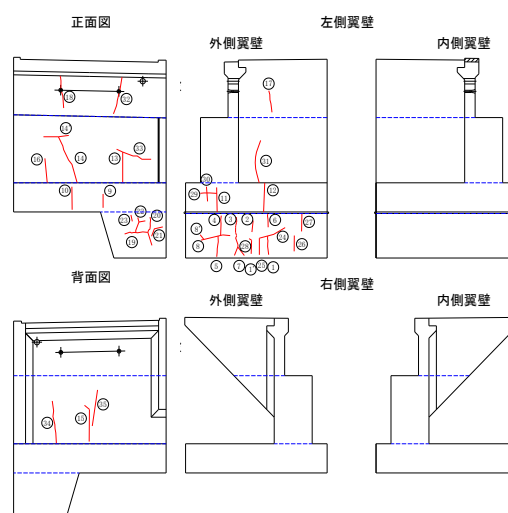


図-11 ひび割れ発生状況

※ 図-11のひび割れは、目視調査の結果、概ね0.20mm未満の微細なひび割れであり、その発生原因は、マッシュン打設部位において主にセメントの水和熱によって生じたひび割れが、コンクリートの乾燥収縮および自己収縮により増進したものであると推察される。そのため、表面被覆工法等での補修を助言した。

その他、過年度に行った技術的依頼調査の例として、以下のものが挙げられる。

- ・ 構造物からのコア採取および静弾性係数試験
- ・ テストハンマーによる強度試験方法の指導
- ・ 補修材料等に関する技術資料整理
- ・ アルカリ骨材反応による構造物の劣化調査 等

参考文献

- 1) 小林 仁：乾燥収縮がプレストレストコンクリート橋に与える影響と拡散理論に基づく収縮ひずみの予測手法に関する研究、2014.3