

レディーミクストコンクリートの品質評価システムの開発

Development of Quality Assessment System of Ready-Mixed Concrete

谷口 秀明 HIDEAKI TANIGUCHI

樋口 正典 MASANORI HIGUCHI

斯波 明宏 AKIHIRO SHIBA

土木工事管理部 岡 誠一 SEIICHI OKA

筆者らは、レディーミクストコンクリートの品質評価システムの構築を推進している。本報は、システムのデータベースとなる生コン工場の実態調査とコンクリートの品質評価試験の結果を用いて、レディーミクストコンクリートの品質の実態を紹介したものである。調査の結果、生コン工場には、単位水量が $175\text{kg}/\text{m}^3$ を超える配合や、水セメント比が過小となる配合が存在すること等が確認された。また、試験結果によれば、骨材の品質は低強度域であってもコンクリートの圧縮強度に影響を及ぼすこと、静弾性係数の試験値には標準値に対して $\pm 30\%$ 程度の範囲があること、骨材の品質はコンクリートの収縮ひずみに大きく影響を及ぼすこと、短期材齢の乾燥収縮ひずみを用いて長期材齢の乾燥収縮ひずみを予測できる可能性があること等がわかった。

キーワード：レディーミクストコンクリート、配合、骨材、圧縮強度、弾性係数、収縮

This report describes the quality of the ready-mixed concrete based on the result of the realities investigation and the examination in order to establish the quality assessment system of the ready-mixed concrete.

As a result of the investigation, it was confirmed that the unit volume of water occasionally exceeds $175\text{kg}/\text{m}^3$ and the water cement ratio might be less than the required amount in standard mix proportion made by the ready-mixed concrete plant. As a result of the experiment of the concrete, followings were obtained; 1) The quality of aggregate exerts the influence on the compressive strength even for low strength concrete. 2) The experimental value of Young's modulus has the range of $\pm 30\%$ for a standard value. 3) There exists a relationship between the quality of the aggregate and the shrinkage of concrete. 4) The dry shrinkage of a long-term age can be estimated by using the dry shrinkage of a short-term age.

Key Words: Ready-Mixed Concrete, Mix Proportion, Aggregate, Compressive Strength, Young's Modulus, Shrinkage

1. はじめに

筆者らは、橋梁の高品質化を目指し、図-1 に示すような材料（コンクリート）に関する取組みを行っている^{1), 2)}。これまでに、高強度、高流動（自己充填性）、軽量、低収縮、高じん性、高耐久性などのさまざまな品質・性能を高めたコンクリートを開発してきた^{3), 4), 5)}が、プレキャスト部材等の一部の例外を除けば、コンクリート構造物には、建設予定地の周辺工場で製造されたレディーミクストコンクリートが使用される。したがって、コンクリートの種類によらず、コンクリートの製造・施工においては、レディーミクストコンクリート

工場（以下、生コン工場）の情報を正確に把握し、事前に適切な対策を講じることが重要である。

近年は、レディーミクストコンクリート（JIS 製品）の購入という形態（製造と施工の分業化）が進むなかで、施工実務者のコンクリートに対する関心は薄れつつある。しかし、生コン工場で製造されるコンクリートは、全国的に見れば、後述のとおり、工場ごとにより異なるものである。地域性や個体差を十分に理解した対応を行わなければ、ワーカビリティーの低下、温度応力や体積変化に伴うひび割れ等、さまざまな不具合のリスクが高まり、結局、施工実務者が予期せぬ事態の対応に苦慮することになり兼ねない。

また、最近では、生コン工場から提示される配合や一般的な試験データ等の情報のみでは推測できない現象も見られる。その一つが、天然骨材の品質低下に起因するコンクリートの収縮量の増加であり、これにより供用前から想定外のひび割れ・変形等が発生した事例⁶⁾も存在する。この状況を踏まえ、土木学会コンクリート標準示方書の2007年改訂⁷⁾では収縮に関する内容が大幅に盛り込まれたほか、学協会等で収縮問題に関する活動が活発化している。しかし、コンクリートの収縮量の実態はまだ明らかになっていないのが現状である。おおよそであれ、収縮量の実態が把握できなければ、諸対策の必要性や効果等を明確に示すことができない。

このようなコンクリートに関する諸問題は、できるだけ早期の段階（できれば設計段階）に実態を把握し、適切な対策^{たとえば、3),4),8),9)}を講じた設計・施工を行うことができれば、不具合の発生確率を低減し、コンクリート構造物の長寿命化を実現できるものと考えられる。

筆者らは、材料分野における高品質化の取組みとして、レディーミクストコンクリートに着目し、生コン工場の実態を取り込んだデータベースの構築を進めている。また、各地の生コン工場で使用している材料（特に骨材）を集め、これを用いたコンクリートの品質を確認している。本論文は、レディーミクストコンクリート（以下、文中では単にコンクリートと呼ぶ）の実態調査と品質確認試験の結果の一部を紹介するものである。

2. 生コン実態調査・データベースに基づく レディーミクストコンクリートの品質評価

生コン工場の実態調査を行い、生コンデータベースを構築するなかで明らかになったこと（データの一部）を紹介する。

図-2、図-3 は、生コン工場の標準配合をもとに、単位水量、単位セメント量、水セメント比、骨材の種類およびスランブに着目し、それらの関係を調べたものである。ここで、標準配合とは、各工場がJIS A 5308「レディーミクストコンクリート」に対応する配合として用意したもので、施工者が意図的に単位水量等の変更を指示し、修正した配合を含めない。ここでは、プレストレストコンクリート（以下、PC と略す）上部構造の現場打ち工法で多用される設計基準強度 40N/mm² のコンクリートを対象とし、これに相当する呼び強度 40、早強ポルトランドセメント、AE 減水剤を使用したコンクリートの配合を示している。

図-2 に示すとおり、スランブ 8cm であっても、単位水量は 155~186kg/m³、単位セメント量は 405~543

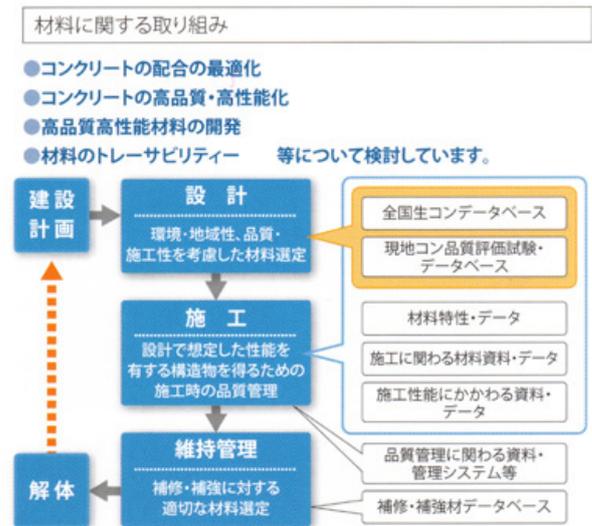


図-1 橋梁高品質化に向けた材料に関する取組み²⁾

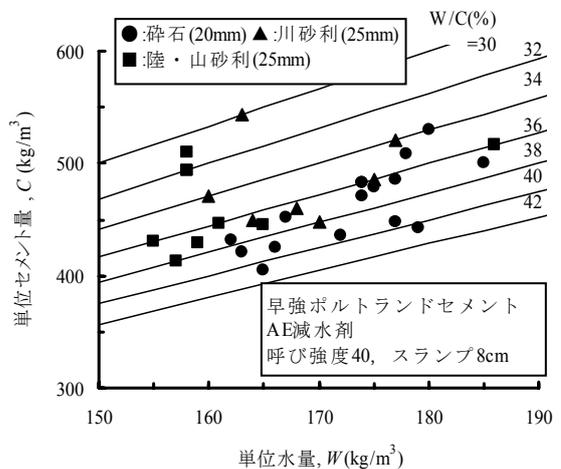


図-2 呼び強度 40、スランブ 8cm の AE 減水剤を使用したコンクリートの単位水量、単位セメント量および水セメント比の関係¹⁰⁾

kg/m³、水セメント比は 30.0~40.7%の広い範囲を有する。スランブが 8cm であっても、コンクリート標準示方書⁷⁾が定める単位水量の上限値 175kg/m³ を超える配合を標準とした生コン工場が存在する。その一方で、単位水量は 160kg/m³ 前後と比較的少なくても、設定された水セメント比が小さいことに起因し、単位セメント量が 500kg/m³ 程度に達する配合が存在する。温度応力等に考慮して単位セメント量の低減を図る場合には、単位水量と水セメント比の双方の設定値に対して何らかの対策を講じる必要がある。

昨今は、配筋量の増加等に伴い、スランブ 8cm よりも大きな値に変更することが増えている⁷⁾。図-3 に示すとおり、単位水量はスランブ 1cm の増加に対して 2kg/m³ 程度増加する傾向があるので、スランブを大きくする場合には、必要に応じて高性能 AE 減水剤の使用

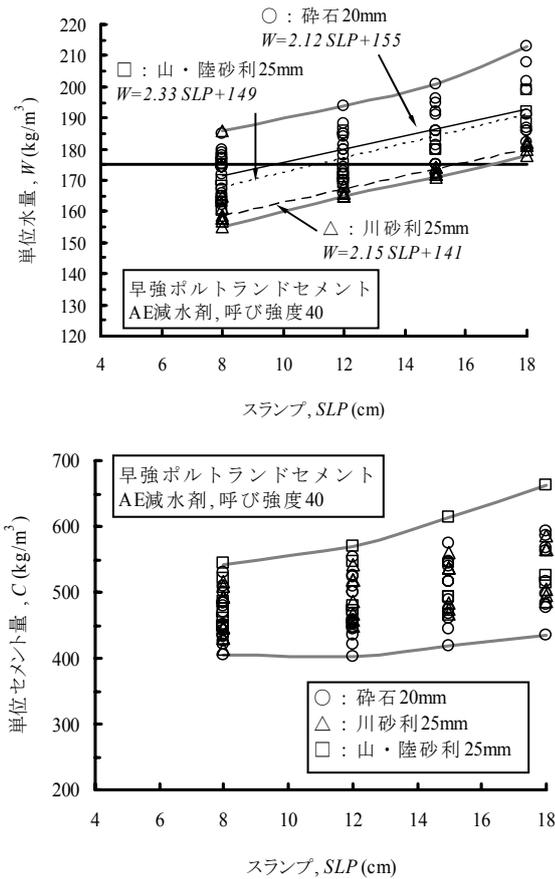


図-3 呼び強度 40 の AE 減水剤を使用したコンクリートのスランプと単位水量および単位セメント量の関係¹⁰⁾

表-1 高性能 AE 減水剤を使用しても単位水量が 175kg/m³ を超える標準配合

Cの種類	工場の所在地	骨材の種類		S _L	SLP (cm)	W(kg/m ³)
		細骨材	粗骨材			
N	岡山県	砕砂	砕石	24	18	178
	愛媛県	海砂・砕砂	砕石	24	18	180
	愛媛県	海砂・砕砂	砕石	27	18	180
	鳥取県	川砂・砕砂	砕石	40	15	177
	岡山県	陸砂・砕砂	砕石	40	18	176
	奈良県	山砂	砕石	40	18	178
	和歌山県	山砂	山砂利	40	18	180
	香川県	海砂	砕石	40	18	184
	鳥取県	川砂・砕砂	砕石	40	18	185
	H	鳥取県	川砂・砕砂	砕石	40	12
鳥取県		川砂・砕砂	砕石	40	15	187
岡山県		陸砂・砕砂	砕石	40	18	177
奈良県		山砂	砕石	40	18	178
和歌山県		山砂	山砂利	40	18	180
香川県		海砂	砕石	40	18	185
鳥取県		川砂・砕砂	砕石	40	18	195

C:セメント, N:普通ポルトランドセメント, H:早強ポルトランドセメント, S_L:呼び強度, SLP:スランプ, W:単位水量

等の対策を講じる必要がある。しかし、スランプ 15cm および 18cm では、単位水量が 200kg/m³、単位セメント量が 600kg/m³ を超える配合を標準とする生コン工場も存在し、必ずしも高性能 AE 減水剤の使用のみで十分であるとは限らない。表-1 は、高性能 AE 減水剤を使用

表-2 JIS A 5308 の配合強度算定式以外の式とこれを示した工場数 (全回答数 63)

	配合強度算定式	工場数
a	S _L + 3σ	4
b	S _L + 2.5σ	17
c	S _L + 2σ	21
d	0.9S _L + 3σ	3
e	S _L + 1σ	1

上記のうち、3工場はJIS式もしくは他式と重複している。

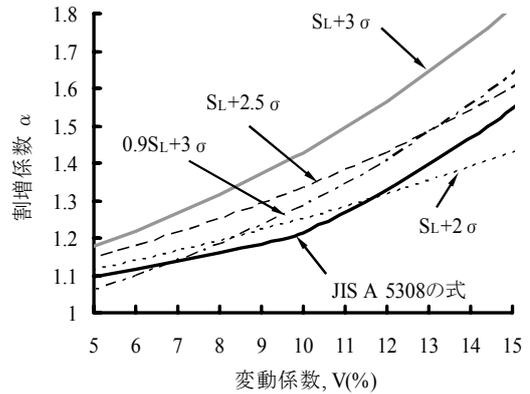


図-4 JIS A 5308 の配合強度の算定式と他式による変動係数と割増し係数の関係の比較

した場合であっても、単位水量が 175kg/m³ を超える標準配合の一例である。現状では、スランプを 18cm としなければ、高性能 AE 減水剤を使用することにより単位水量を 175kg/m³ 以下にすることができる場合がほとんどであるが、それを超える可能性のある地域が存在すること、荷卸しから打込み終了までの時間を要する場合やポンプ圧送ロスが大きい場合には、練上り時のスランプを大きくしなければならぬこと等を考えれば、事前に調査・検討しておく必要がある。

前述のとおり、水セメント比は、呼び強度 40 であるにもかかわらず、30%程度のもが存在するが、これは、筆者らの試験・研究や工事経験から判断すれば、設計基準強度 60N/mm² の高強度コンクリートの水セメント比に相当する。JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」では、3本1組の供試体の平均値を1回の試験結果として、1回の試験結果は呼び強度の強度値の85%以上でなければならないこと、3回の試験結果の平均値は呼び強度の強度値以上でなければならないこととし、それらから導き出された算定式をもとに配合強度が定められる。しかし、生コン工場では、表-2、図-4 に示すとおり、JIS の算定式を記載した工場は全体の 3 割に過ぎず、呼び強度の強度値に 2 倍または 2.5 倍した標準偏差を足し合わせた表中の計算式 b, c を採用している工場が多い。全国生コンクリート工業連合会のガイドブック¹¹⁾では、

表-3 収集した骨材の種類および産地

No.	区分	細骨材						粗骨材			
		種類	産地	種類	産地	種類	産地	種類	産地	種類	産地
0	基準	川砂	栃木県	砕砂	栃木県			砕石2005	栃木県		
1	建築	砕砂	栃木県	陸砂	茨城県			砕石2005	茨城県	砕石2005	栃木県
2		砕砂	高知県	山砂	千葉県			砕石2005	高知県		
3		陸砂	茨城県	砕砂	栃木県			砕石2005	栃木県		
4		砕砂	新潟県					砕石2505	新潟県		
5		山砂	千葉県					砕石2005	山口県	砕石2005	東京都
6		山砂	千葉県	砕砂	東京都			砕石2005	東京都		
7		砕砂	東京都	砕砂	東京都	山砂	千葉県	砕石2005	東京都	砕石2005	神奈川県
8		陸砂	神奈川県	山砂	千葉県			砕石2005	兵庫県	砕石2005	神奈川県
9		砕砂	山梨県	山砂	千葉県			砕石2005	山梨県		
10		川砂	神奈川県	山砂	千葉県	山砂	神奈川県	砕石2005	神奈川県		
11	土木	山砂	京都府	砕砂	大阪府			砕石2015	大阪府	砕石1505	大阪府
12		山砂	京都府					砕石2015	大阪府	砕石1505	大阪府
13		砕砂	岩手県	山砂	宮城県			砕石2505	岩手県		
14		山砂	愛知県	スラグ砂	愛知県			砕石2005	三重県	砕石2005	三重県
15		砕砂	広島県					砕石2015	広島県	砕石1505	広島県
16		砕砂	山口県	海砂	山口県			砕石2015	愛媛県	砕石1505	愛媛県
17		砕砂	愛媛県	海砂	大分県			砕石2005	愛媛県		
18		砕砂	愛媛県					砕石2005	愛媛県		
19		砕砂	福岡県	海砂	長崎県			砕石2015	山口県	砕石1505	山口県
20		加工砂	島根県					砕石2015	島根県	砕石1505	島根県
21		砕砂	広島県	砕砂	大分県			砕石2015	広島県	砕石1505	広島県
22		陸砂	鹿児島県	陸砂	宮城県			砕石2505	鹿児島県		
23		海砂	佐賀県	砕砂	大分県			砕石2005	大分県		
24		海砂	福岡県	海砂	福岡県			砕石2005	大分県		
25		川砂	静岡県					川砂利	静岡県		
26		陸砂	静岡県	山砂	静岡県			陸砂利	静岡県		
27		陸砂	富山県					陸砂利	富山県		
28		川砂	山梨県					川砂利	山梨県		
29		陸砂	青森県	陸砂	青森県			砕石2005	青森県		
30		砕砂	広島県					砕石2015	広島県	砕石1505	広島県

幾つかの算定式が紹介され、表-2中の式cを推奨している。しかし、JIS以外の算定式で求められる割増し係数は、JISの算定式よりも大きな値になる。この割増し係数の設定が、構造物にとって必要以上の圧縮強度となる原因であるが、これは原因の一つであって、この他にもさまざまな理由があることが生コン実態調査・データベースによって明らかになっている。施工者は、製造者が作成したコンクリートの配合計算書等を理解したうえで、コンクリートを使用することが重要である。

3. 品質評価試験に基づくレディーミクスト コンクリートの品質評価

生コンの実態調査・データベースでは不明瞭な部分について、現地の骨材を当社の技術開発センターに集め、ほぼ同一条件でのコンクリート品質評価試験を実施している。ここでは、コンクリート品質評価試験のなかで明らかになったことの一部を紹介する。

(1) コンクリートの条件

評価対象のコンクリートは、設計基準強度 40N/mm²程度のPC橋上部構造に使用するコンクリート(PC配合、PCコンクリートと呼ぶ)と、設計基準強度 24~27N/mm²程度の一般的なRC構造物に使用するコンクリート(RC配合、RCコンクリートと呼ぶ)の2種類とした。使用したセメントは、それぞれ、早強ポルトラン

ドセメント(密度 3.13g/cm³)、普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm³)である。この試験ではセメントと骨材の複合要因の影響を排除するため、セメントはすべて同一の銘柄・ロットのものとした。

表-3は、収集した骨材の種類と産地である。橋梁等の土木工事は地方が多いため、地方の生コン工場で常時使用している骨材を中心に収集した(表中の区分「土木」)。「基準」とは技術開発センターで試験・研究用に使用している骨材、「建築」とは首都圏の建築工事を対象に高強度コンクリートの製造実績がある2工場の骨材である。骨材の採取にあたっては、骨材の貯蔵設備から直接採取し、大小粒の偏りがなるべく生じないように注意した。なお、粗骨材の最大寸法は20mmもしくは25mmである。

単位水量およびスランプの調整には、基本的にPCコンクリートには高性能AE減水剤(標準形、ポリカルボン酸エーテル系の化合物、抑泡タイプ)を、RCコンクリートにはAE減水剤(標準形、リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体抑泡タイプ)を使用することとした。空気量の調整にはAE剤(変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤)を使用した。

水セメント比は、PC配合が40%、RC配合が55%である。単位水量は、コンクリート標準示方書⁷⁾で示される標準範囲155~175kg/m³を参考とし、高性能AE減水剤あるいはAE減水剤の使用量が過多あるいは過少にならない範囲とした。細骨材率は生コン工場の配合を参考

表-4 圧縮強度試験の結果

配合の種類		PC配合			RC配合		
材齢(日)		3	7	28	7	28	
基準	No.0	50.2	57.4	67.7	28.6	40.7	
建築高強度コンクリート工事	No.1	53.9	59.5	69.9	31.4	40.2	
	No.2	50.6	58.6	67.9	29.5	38.6	
土木工事 (No.3~30)	全データ	平均	47.5	55.1	63.7	27.7	38.3
		最小	39.7	46.6	54.2	21.1	30.3
		最大	53.7	62.1	72.5	31.8	44.5
	砂利	平均	44.7	54.4	61.7	25.9	36.6
		最小	42.1	52.8	60.6	29.5	40.3
		最大	47.7	57.2	63.9	24.0	34.3
	碎石	平均	48.0	55.2	64.1	28.0	38.6
		最小	39.7	46.6	54.2	21.1	30.3
		最大	53.7	62.1	72.5	31.8	44.5

とした。それらの値は、フレッシュコンクリートの性状を確認して調整を行った。ただし、単位粗骨材絶対容積（単位粗骨材量）が大幅に異なると、その違いがコンクリートの収縮量に大きく影響を及ぼす可能性があるため、単位粗骨材絶対容積は $0.375 \pm 0.15 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 程度の範囲を目安とした。構造物や施工の条件、スランプの経時変化等により、練上りのスランプの目標値は異なるが、本研究では 12~15cm 程度で良好なフレッシュ性状が得られる単位水量と細骨材率の目安を確認することとした。空気量の範囲は、 $4.5 \pm 0.5\%$ とした。スランプおよび空気量の試験は、それぞれ、JIS A 1101, JIS A 1128 に準じて実施した。

(2) 試験方法

本論文では、力学的特性として圧縮強度と静弾性係数、体積変化としては自己収縮ひずみと乾燥収縮ひずみの試験結果を紹介する。圧縮強度および静弾性係数の試験は、それぞれ、JIS A 1108, JIS A 1149 に準拠し、円柱供試体（φ100×200mm）を使用して、養生を標準水中養生、材齢を PC コンクリートでは 3, 7, 28 日、RC コンクリートでは 7, 28 日とした。自己収縮試験は、(社)日本コンクリート工学協会の埋込み型ひずみ計を用いた試験方法¹²⁾に準じ、データロガーにより材齢 56 日（凝結の始発を起点）まで継続的に測定を行った。乾燥収縮試験は、JIS A 1129-2 に基づき、コンタクトゲージ法で実施し、ゲージプラグには埋込み用ゲージプラグを使用した。供試体は、材齢 7 日間の水中養生を行った後、乾燥を開始した。供試体の乾燥は、恒温恒湿室（温度 20℃、湿度 60%に設定）内で行った。乾燥開始後の測定材齢（以下、材齢と呼ぶ）は、7 日、28 日、56 日、91 日および 182 日とした。

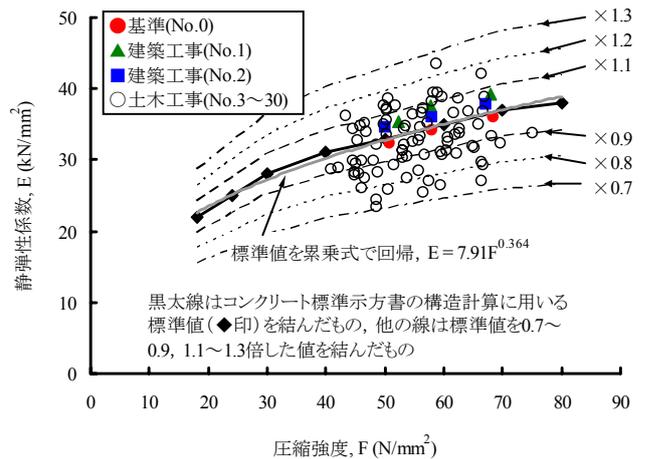


図-5 PC コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係

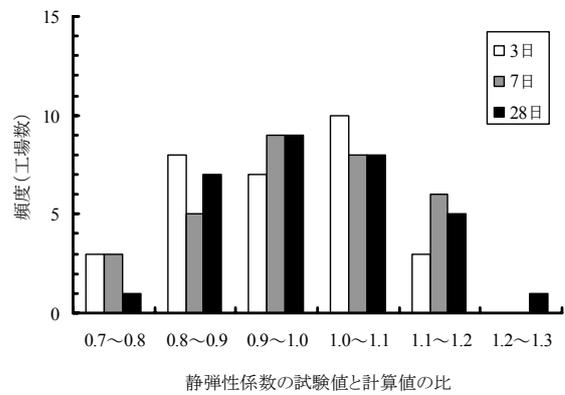


図-6 PC コンクリートの静弾性係数の試験値と計算値の比の分布

(3) 力学的特性

圧縮強度試験の結果を、表-4 に示す。表-4 に示すとおり、研究用基準骨材(No.0)と高強度コンクリート用骨材(No.1, No.2)を使用した場合の圧縮強度はほぼ同値である。しかし、地方を中心とする一般の生コン工場の骨材(No.3~30)を使用した場合には、セメントおよび水セメント比が同一であっても、圧縮強度は相当に異なる。PC コンクリートの材齢 28 日の圧縮強度は、比較的高い強度域での比較であるため、骨材強度がコンクリート強度に影響を及ぼすことが考えられる。しかし、比較的低い強度域の PC コンクリートの材齢 3 日、RC コンクリートの材齢 7 日の圧縮強度であっても基準骨材の結果に比べてかなり低いものが存在する。砂利は形状が丸いため、一般にこれを使用したコンクリートの圧縮強度は碎石に比べて小さくなると言われており、その傾向は今回の試験結果においても平均値から読みとれる。ただし、その差はわずかであり、碎石の中には砂利よりもコンクリート強度が低くなるものが存在する。なお、2. で述べたとおり、生コン工場の PC コンクリートの標準配合

には水セメント比が 40%よりもかなり小さい場合が多いが、今回の室内試験の結果では、設計基準強度 40N/mm² を満足する実強度は水セメント比 40%で十分に得られている。

図-5、図-6 は、PC コンクリートの試験結果であり、それぞれ、材齢 3, 7, 28 日の圧縮強度と静弾性係数の関係、静弾性係数の試験値と計算値の比の分布を表す。ここで、静弾性係数の計算値とは、図-5 に示す構造計算に用いる標準値に対して、累乗式で回帰し、圧縮強度の試験値を代入して求めたもの(図中の灰色の曲線)であり、今回の試験の範囲では標準値を結んだ線と累乗式の線はほぼ一致する。基準骨材(No.0)と高強度コンクリート用骨材(No.1, No.2)を使用した場合の圧縮強度と静弾性係数の関係は、構造計算に用いる標準値とおおむね一致する。しかし、一般の生コン工場の骨材(No.3~30)を使用した場合には、その標準値に対して±30%程度異なる結果も存在することがわかった。プロットしたデータは実強度であるので、静弾性係数が若干低いものに関しては、割増しが行われた配合強度では標準値に近くなるが、標準値よりも大幅に低いものあるいは高いものについては実測値に基づく構造計算が必要である。静弾性係数の試験値を確認しただけでも、設計、施工のいずれの段階においても、建設予定地周辺の生コン工場の情報は重要であることがわかる。

(4) 体積変化

自己収縮(材齢 28 日)および乾燥収縮(材齢 182 日)の試験結果を、表-5 に示す。乾燥収縮ひずみは、前述のとおり、JIS A 1129 の試験による長さ変化率であり、材齢 7 日以降の乾燥環境下における自己収縮ひずみを含む。なお、文中では、収縮を正として大小関係を表現する。

表-5 に示すとおり、基準骨材(No.0)と建築の高強度コンクリート用骨材(No.1, No.2)を使用した PC コンクリートの自己収縮ひずみは、前述の圧縮強度、静弾性係数と同様にほとんど差異が認められない。しかし、一般の生コン工場の骨材(No.3~No.30)を用いた場合の自己収縮ひずみは、表中に全データと記載した最小と最大では 3 倍程度異なる。砂利と碎石との違いは、平均値を比較するとほとんど認められない。自己収縮ひずみは、一般に単位セメント量と密接であるが、今回の試験では単位水量を狭い範囲に設けたので、単位セメント量の差は小さく、本試験の範囲では単位セメント量と自己収縮ひずみの関係が成立しないことも確認している。したがって、自己収縮ひずみの相違は、骨材の種類・品質に起因するものと理解できる。既往の研究報告には、人工軽量骨材

表-5 収縮試験の結果

収縮ひずみの種類		自己収縮ひずみ	乾燥収縮ひずみ		
配合の種類		PC配合		RC配合	
材齢(日)		28	182	182	
基準	No.0	176	577	625	
建築高強度コンクリート工事	No.1	178	486	530	
	No.2	175	442	465	
土木工事(No.3~30)	全データ	平均	163	581	629
		最小	74	392	389
		最大	241	798	921
	砂利	平均	148	606	679
		最小	74	477	502
		最大	191	734	826
	碎石	平均	164	571	613
		最小	97	392	389
		最大	241	798	921

(×10⁶, 収縮を正で表した値)

や再生骨材のような特殊骨材を用いた場合の自己収縮ひずみへの影響については報告されているが、一般の生コン工場で使用されている天然骨材に着目して、自己収縮ひずみを調査したものは見られない。今回の試験結果によれば、設計基準強度 40N/mm² 程度のコンクリートであっても、使用する骨材によっては自己収縮ひずみが大いいため、事前に確認し、対策を要する場合もあると考えられる。2. で述べたとおり、生コン工場の標準配合には、今回の試験よりも水セメント比が小さく、単位セメント量が多いものが多く存在するため、そのような場合には一層自己収縮ひずみを増加させる可能性がある。

次に、乾燥収縮ひずみに着目すると、RC コンクリートの乾燥収縮ひずみは、PC コンクリートに比べて大きくなる傾向がある。ただし、前述のとおり、PC コンクリートは単位セメント量が多いため、自己収縮ひずみも考慮する必要がある。

基準骨材(No.0)と建築の高強度コンクリート用骨材(No.1, No.2)を使用したコンクリートの乾燥収縮ひずみは、自己収縮ひずみの場合とは異なり、双方には若干の相違が認められる。しかし、一般の生コン工場の骨材 No.3~No.30 を使用すると、乾燥収縮ひずみは、それらよりも大幅に大きいものあるいは小さいものが存在する。このように、同一セメントを使用し、水セメント比を一定とするなど、材料・配合および試験方法がほぼ同じであっても、骨材の種類によってコンクリートの乾燥収縮ひずみは大きく異なる。

図-7 は、同一骨材を使用した PC コンクリートと RC コンクリートの乾燥収縮ひずみを比較したものである。

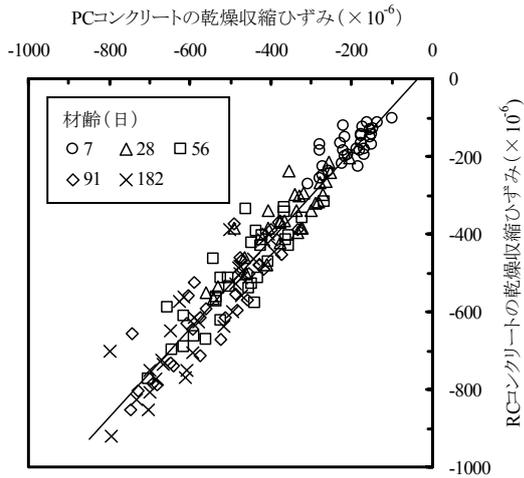


図-7 PCコンクリートとRCコンクリートの乾燥収縮ひずみの比較

図中の直線は、両試験値に対して一次式で回帰を行ったものである。両コンクリートは、セメントの種類および水セメント比が全く異なる。しかし、両者の乾燥収縮ひずみは大幅に異なるものではなく、RCコンクリートの乾燥収縮ひずみがPCコンクリートの乾燥収縮ひずみよりも若干大きくなる程度である。また、筆者らのこれまでの研究¹⁾では、骨材および水セメント比を同一とした場合、単位水量が150kg/m³と200kg/m³の収縮ひずみ（自己収縮ひずみを含む）には明確な違いがあるが、その間の微量を調整した程度では収縮ひずみの大小関係が逆転する結果も確認されている。したがって、骨材の種類が異なることは、セメントの種類や配合の違いよりも、乾燥収縮ひずみに大きく影響を及ぼす可能性がある。

以上のように、コンクリートの単位水量はなるべく少なくなるよう決定することを配合設計の基本とすべきであるが、まずは、単位水量が最終決定していない暫定的な配合であっても乾燥収縮ひずみが測定されているのであれば、その値によって骨材の品質に起因する乾燥収縮ひずみの増大の有無を把握し、設計・施工上の対策の要否を検討することが重要である。また、このような結果は、筆者らが実施している生コンデータベースおよび品質評価試験によって裏付けられるものであり、それらの実施が非常に重要であることを示唆している。

(5) 力学的特性と体積変化に関する各試験値間の関係

乾燥後の材齢が6ヶ月の乾燥収縮ひずみは、試験練りから打込み開始までの期間が短い場合等では事前に確認できないことがある。このため、何らかの他の指標あるいは短期材齢の収縮ひずみによって推定できると便利である。図-8は、静弾性係数の試験値と計算値の比を指

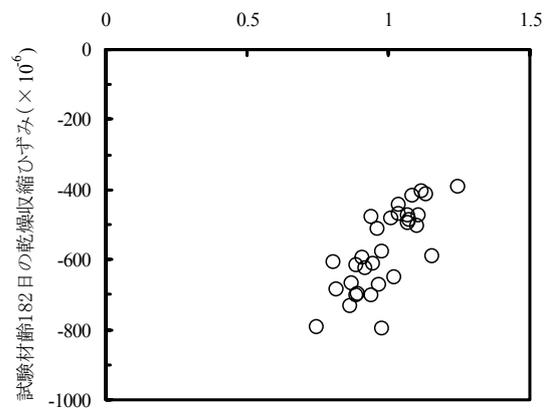
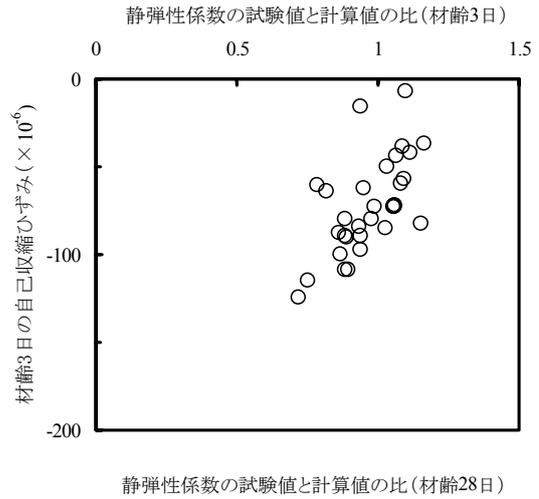


図-8 静弾性係数と自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみの関係

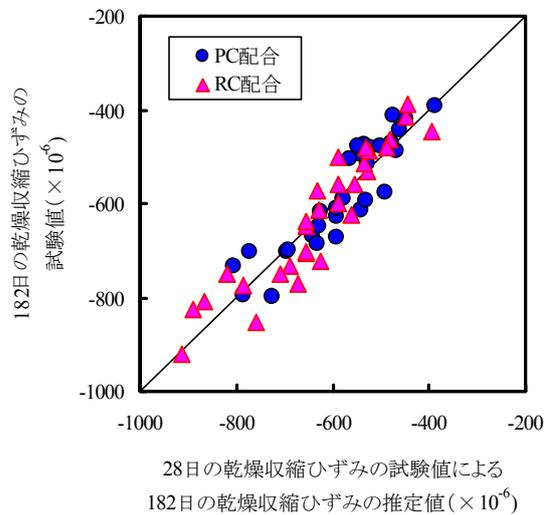


図-9 短期材齢の乾燥収縮ひずみによる長期材齢の乾燥収縮ひずみの予測結果の一例

標とし、自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみとの関係を表したものである。静弾性係数は、いずれの収縮ひずみとも相関があり、セメントの種類および水セメント比を同一とした条件では、静弾性係数が小さいほど、収縮

ひずみが大きくなる傾向がある。したがって、静弾性係数は、収縮ひずみを予測できる指標の一つになる可能性がある。

図-9 は、材齢 28 日の乾燥収縮ひずみを用い、材齢 182 日の乾燥収縮ひずみを予測した結果の一例である。予測値と実測値は、いずれの配合においてもおおむね一致しており、筆者らの試みにより、短期材齢による長期材齢の乾燥収縮ひずみの予測が可能であることを示唆している。いずれの関係にもばらつきがあり、精度良く推定するための工夫は必要であるが、実務上は過大な収縮ひずみを生じるものか、およその判定ができるだけでも、予期しない不具合を未然に防ぐことができると考えられる。ただし、ここで得られた結果は、本論文中の手法に基づくものであり、他の手法を用いる場合には、その影響を十分に考慮する必要がある。また、骨材の種類・品質によって収縮ひずみが大きく異なる結果を鑑みれば、その情報を事前に把握しておく必要があり、生コンデータに品質評価試験データを組み合わせた総合データベースに基づくレディーミクストコンクリートの品質評価システムの構築と活用が今後ますます重要となるものと考えられる。

4. まとめ

レディーミクストコンクリートの実態調査と現地の骨材を使用したコンクリートの品質評価試験を実施した結果、以下のことが明らかになった。

- ① 生コン工場の標準配合には、単位水量が $175\text{kg}/\text{m}^3$ を超えるもの、水セメント比が相当に小さく、単位セメント量の増加の原因になっているもの等がある。また、スランプの増加に伴い、単位水量および単位セメント量が増大する傾向にあるため、高性能 AE 減水剤の使用等、事前の調査と適切な対策が重要である。
- ② 生コン工場の骨材を使用した場合には、低強度域であっても、同一の水セメント比および材齢の他の骨材を使用したものと比較し、圧縮強度がかなり小さくなるものが存在する。
- ③ 生コン工場の骨材を使用した PC コンクリートの静弾性係数は、構造計算に用いる標準値に対して±30%程度の範囲がある。
- ④ 骨材の品質は、コンクリートの自己収縮および乾燥収縮ひずみのいずれにも影響を及ぼし、それぞれの最大値と最小値は数倍異なるものが存在する。
- ⑤ 自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみは、いずれも静弾性係数との相関がある。

- ⑥ 短期材齢の乾燥収縮ひずみを用いて、長期材齢の乾燥収縮ひずみを予測できる可能性がある。

参考文献

- 1) 例えば、建設工業新聞：三井住友建設、100 年橋梁の対応技術蓄積、高品質化委立ち上げ、2008.1.29
- 2) 三井住友建設：CSR レポート 2008、pp.7-8、2008.9
- 3) 谷口秀明、浅井洋、樋口正典、三上浩、藤田学：低収縮コンクリートの開発と実構造物への適用、三井住友建設技術研究所報告、第 6 号、pp.65-72、2008.11
- 4) 谷口秀明、三上浩、浅井洋、樋口正典、藤田学：高じん性コンクリートの開発ービニロン繊維補強コンクリートの基礎物性ー、三井住友建設技術研究所報告、第 6 号、pp.73-82、2008.11
- 5) 谷口秀明、三上浩、浅井洋、樋口正典、藤田学：人工軽量骨材コンクリートの品質向上に関する研究ー基礎物性および自己充てん性ー、三井住友建設技術研究所報告、第 6 号、pp.83-90、2008.11
- 6) 土木学会：垂井高架橋損傷対策特別委員会中間報告書、2005.9
- 7) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書、2008.3
- 8) 谷口秀明、豊田邦男、辻野英幸、内田誠二郎：寒冷地における収縮補償用コンクリートの膨張特性、膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化に関するシンポジウム論文集、pp.13-20、2003.9
- 9) 谷口秀明、樋口正典、藤田学：高強度コンクリートの表面仕上げと養生の方法に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.28、pp.1355-1360、2006.7
- 10) 谷口秀明、樋口正典、藤田学：PC 橋を対象とした高強度コンクリートの配合、強度および収縮に関する一考察、第 15 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.193-198、2006.10
- 11) 全国生コンクリート工業連合会：生コン工場品質ガイドブック（第4次改訂版）、1999.12.
- 12) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの自己収縮応力試験方法(案)、JCI-SAS2