

高強度コンクリートの模擬柱部材から採取したコア供試体および 簡易断熱養生した管理用供試体の静弾性係数に関する一考察

A STUDY ON STATIC MODULUS OF ELASTICITY OF HIGH-STRENGTH CONCRETE CONCERNING CORE SPECIMEN FROM IMITATED CONCRETE COLUMN AND SIMPLE ADIABATIC CURING SPECIMEN

中田 善久*, 澤本 武博**, 大塚 秀三***, 春山 信人****

*Yoshihisa NAKATA, Takehiro SAWAMOTO, Shuzo OTSUKA
and Nobuhito HARUYAMA*

The last study described that the shorter the period of standard curing, the smaller the development of static modulus of elasticity, even though the same compressive strength of high-strength concrete was obtained. Furthermore, the tendency was changed by sorts of cements under the standard curing. In this study, the static modulus of elasticity of high-strength concrete concerning core specimen from imitated concrete column and simple adiabatic curing specimen were investigated. In case standard curing specimen and adiabatic curing specimen were tested at the age of 13 weeks, the calculated value of static modulus of elasticity according to the New RC formula was almost the same as that of test result. However, in case core specimen from imitated concrete column was tested at the age of 13 weeks, the calculated value was smaller than the test result. Therefore, it is considered that the calculated value can be made more accurate when coefficients of cements, ages and specimens are added to the New RC formula.

Keywords: *High-strength concrete, Static modulus of elasticity, Full scale specimen imitated concrete column, Core specimen, Simple adiabatic curing, Standard curing*

高強度コンクリート, 静弾性係数, 模擬柱部材, コア供試体, 簡易断熱養生, 標準養生

1. はじめに

2009年3月に, 日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」¹⁾ (以下, JASS 5 という.) が改定され, コンクリートの静弾性係数(ヤング係数)は「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による式^{2,3)} (以下, 構造計算規準式という.) で計算される値の80%以上の範囲内であることが新たに盛り込まれた。しかし, 基準となる構造計算規準式に対して, 設計基準強度42~60N/mm²の高強度コンクリートに石灰岩を用いたものは構造計算基準式にほぼ近似したという報告⁴⁾があるものの, 首都圏で一般的な石灰石砕石を用いた高強度コンクリートの場合, 石灰石骨材の修正係数(k_1)を1.2から1.1に減じると構造計算規準式による算定値と実測値がほぼ等しくなるという報告⁵⁾や, 関西地区における骨材の種類およびセメントの種類の相違によって構造計算規準式による計算値と実測値に差異が生じるという報告⁶⁾もある。

一方, JASS 5⁷⁾には構造体コンクリートの圧縮強度の基準として, コア供試体を用いる場合は材齢91日において品質基準強度以上で

あること, 標準養生供試体を用いる場合は材齢28日において調合管理強度以上であることが記述されている。しかし, 静弾性係数に関しては圧縮強度のような管理材齢に関する記述がなく, いつの段階で圧縮強度と静弾性係数の関係が成立するのかは明らかにされていない。そのため, 著者らはこれまでに, 各種セメントを用いた高強度コンクリートについて, 水中で標準養生を行った供試体の場合, 圧縮強度が同一であっても, 材齢が早期であるほど静弾性係数が小さくなる傾向にあり, その程度はセメントの種類によっても異なることを明らかにした⁸⁾。

また, JASS 5⁷⁾には水中養生した供試体, 封かん養生した供試体, コア供試体のいずれの場合にも構造計算規準式がおおむね成立することが知られていると解説されている。「高強度コンクリートの施工指針(案)・同解説」⁹⁾において, 高強度コンクリートの標準養生供試体および模擬柱部材から採取したコア供試体について, 圧縮強度が大きくなるほど構造計算規準式では静弾性係数を若干高く評価する傾向にあるものの, 構造計算規準式で圧縮強度と静弾性係数との

* 日本大学理工学部建築学科 准教授・博士(工学)

** ものづくり大学建設技能工芸学科 専任講師・博士(工学)

*** ものづくり大学建設技能工芸学科 専任講師・修士(工学)

**** フジミ工研(株) 滑川工場コンクリート品質管理担当・課長

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon University, Dr. Eng.

Lecturer, Dept. of Building Technologists, Monotsukuri Institute of Technologists, Dr. Eng.

Lecturer, Dept. of Building Technologists, Monotsukuri Institute of Technologists, M. Eng.

Chief, Charge of QC of Concrete Namegawa Factory Fujimi Koken Co., Ltd.

表1 コンクリートの調合

セメントの種類	W/C (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	s/a (%)	かさ容積** (m³/m³)	単位量(kg/m³)				Ad*** (C×%)		
						W	C	S	G	夏期	標準期	冬期
普通ポルトランドセメント	47	21±2	4.5±1.5	50.6	0.545	175	373	874	883	1.25	1.15	0.95
	37	50±7.5*		50.7		170	460	846	851	1.40	1.35	1.20
	27	60±10*		46.2		170	630	707	851	1.50	1.40	1.20
中庸熱ポルトランドセメント	47	21±2		50.8	0.525	175	373	880	883	1.15	1.05	0.95
	37	50±7.5*		50.9		170	460	853	851	1.40	1.30	1.15
	27	60±10*		45.9		170	630	715	851	1.50	1.40	1.20
低熱ポルトランドセメント	45	21±2		51.0	0.525	170	378	890	883	1.15	1.05	0.90
	35	50±7.5*		51.0		165	472	856	851	1.30	1.15	1.10
	25	60±10*		46.1		165	660	705	851	1.25	1.20	1.10

*スランブフロー **単位粗骨材かさ容積 ***高性能 AE 減水剤

表2 模擬柱部材におけるコンクリートの最高温度

	セメントの種類		水セメント比		
			47(45)%	37(35)%	27(25)%
夏期	普通ポルトランドセメント	中央部	69.5℃	77.3℃	94.1℃
		外周部	59.5℃	65.2℃	79.4℃
	中庸熱ポルトランドセメント	中央部	60.8℃	67.4℃	82.9℃
		外周部	50.9℃	59.3℃	68.4℃
	低熱ポルトランドセメント	中央部	50.8℃	57.3℃	69.4℃
		外周部	46.2℃	50.3℃	60.0℃
標準期	普通ポルトランドセメント	中央部	59.4℃	68.4℃	82.0℃
		外周部	49.2℃	56.4℃	65.1℃
	中庸熱ポルトランドセメント	中央部	46.9℃	56.7℃	70.9℃
		外周部	37.6℃	46.7℃	57.3℃
	低熱ポルトランドセメント	中央部	40.3℃	46.0℃	58.8℃
		外周部	34.7℃	38.9℃	48.9℃
冬期	普通ポルトランドセメント	中央部	42.9℃	52.5℃	67.8℃
		外周部	31.5℃	38.3℃	50.1℃
	中庸熱ポルトランドセメント	中央部	30.9℃	39.7℃	58.3℃
		外周部	22.2℃	28.5℃	41.5℃
	低熱ポルトランドセメント	中央部	27.7℃	33.0℃	48.2℃
		外周部	21.6℃	24.7℃	34.2℃

* () 内は低熱ポルトランドセメントを用いた場合

表3 簡易断熱養生におけるコンクリートの最高温度

	セメントの種類	水セメント比		
		47(45)%	37(35)%	27(25)%
夏期	普通ポルトランドセメント	62.6℃	67.7℃	81.6℃
	中庸熱ポルトランドセメント	54.3℃	63.6℃	74.9℃
	低熱ポルトランドセメント	47.6℃	53.0℃	66.3℃
標準期	普通ポルトランドセメント	54.9℃	63.9℃	74.0℃
	中庸熱ポルトランドセメント	45.6℃	52.7℃	64.5℃
	低熱ポルトランドセメント	38.1℃	44.0℃	54.0℃
冬期	普通ポルトランドセメント	44.7℃	52.4℃	65.3℃
	中庸熱ポルトランドセメント	31.7℃	39.4℃	54.7℃
	低熱ポルトランドセメント	29.4℃	36.8℃	46.1℃

* () 内は低熱ポルトランドセメントを用いた場合

係に及ぼす影響を明らかにしたものである。ここでは、強度発現性が異なる普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメントおよび低熱ポルトランドセメントの3種類のセメントを用いた設計基準強度 60N/mm² 程度の高強度コンクリートについて、水中で標準養生を行った供試体(以下、標準養生供試体という。)、模擬柱部材から採取したコア供試体および簡易断熱養生を行った供試体(以下、簡易断熱養生供試体という。)の圧縮強度と静弾性係数の関係および構造計算規準式により求めた算定値との関係について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用したセメントは、強度発現性が異なる T 社製の普通ポルトランドセメント(比表面積 3,290cm²/g, 密度 3.16g/cm³)、中庸熱ポルトランドセメント(比表面積 3,230cm²/g, 密度 3.21g/cm³) および低熱ポルトランドセメント(比表面積 3,430cm²/g, 密度 3.22g/cm³) の3種類とし、骨材には栃木県栃木市尻内町産陸砂(表乾密度 2.61g/cm³, 吸水率 2.30%, 粗粒率 2.75) および最大寸法が 20mm の栃木県安蘇郡葛生町産石灰岩砕石(表乾密度 2.70g/cm³, 吸水率 0.59%, 粗粒率 6.65, 実積率 60.0%)を用いた。また、化学混和剤

関係をほぼ評価できるとしている。そして、コア供試体の静弾性係数は、構造計算規準式による算定値をやや下回るものの、セメントの種類によらず評価できる可能性があると記述されている。しかし、セメントの種類が異なると養生条件によっては高強度コンクリートの強度発現性は大きく異なり、これまでの研究結果⁹⁾からも材齢による影響は無視できないものと考えられる。また、JASS 5T-705「簡易断熱養生供試体による構造体コンクリート強度の推定方法(案)」¹⁰⁾によって簡易断熱養生を行った供試体の静弾性係数に関する系統立てた実験は極めて少ない。

そこで、本研究は、各種セメントを用いた高強度コンクリートについて実機製造し、養生方法の違いが強度発現性と静弾性係数の関

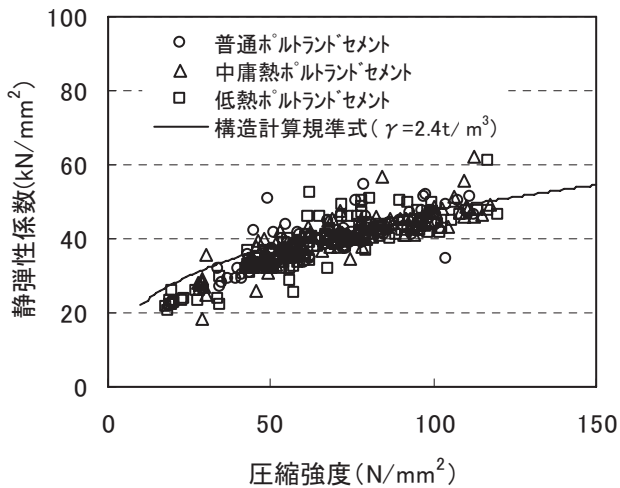


図1 圧縮強度と静弾性係数の関係（標準養生供試体）

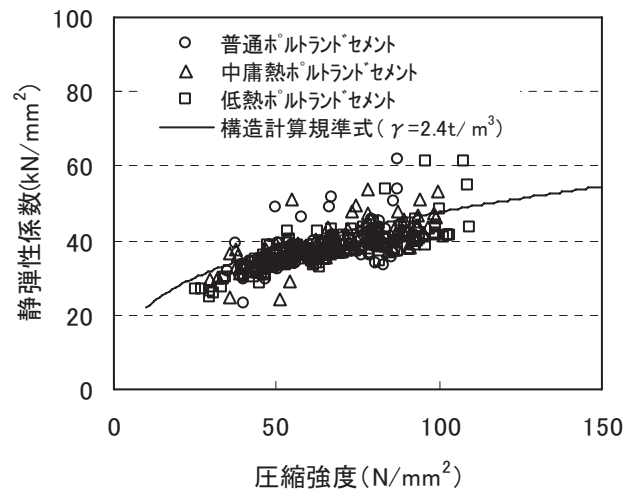


図2 圧縮強度と静弾性係数の関係（簡易断熱養生供試体）

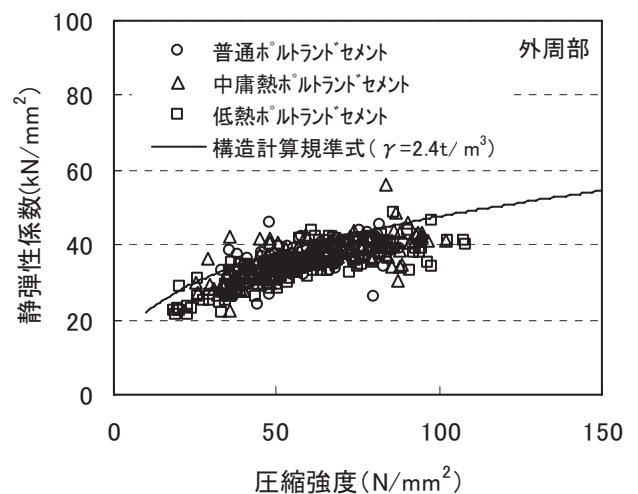
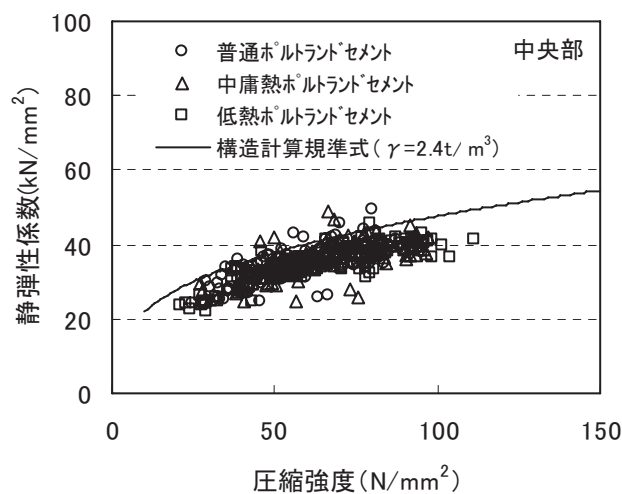


図3 圧縮強度と静弾性係数の関係（模擬柱部材から採取したコア供試体）

には、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を用いた。なお、所定の空気量が得られるよう、AE 助剤も用いた。

2.2 コンクリートの調合および練混ぜ方法

コンクリートの調合を表1に示す。コンクリートの水セメント比は、普通ポルトランドセメントおよび中庸熱ポルトランドセメントで47%、37%、27%、低熱ポルトランドセメントで45%、35%、25%とそれぞれ3種類とした。コンクリートの練混ぜは、実機公称容量3m³の強制二軸式ミキサで行い、1回の練混ぜ量を2.25m³とし、夏期、標準期および冬期の打込み時期について実施した。フレッシュコンクリートの試験結果はいずれの調合においても高強度コンクリートの管理許容範囲を満足していた。詳細は前報⁹⁾を参照されたい。

2.3 供試体の作製および養生方法

(1) 標準養生供試体

いずれのシーズンにおいても、試料採取後直ちに20℃の試験室に静置し、翌日に脱型して、所定の材齢まで水中で標準養生を行った。供試体の形状および寸法はφ100×200mmの円柱とし、各調合、各材齢においてそれぞれ9本（夏期、標準期、冬期の打込み時期で各3本）作製した。また、供試体の作製は、軽量型枠を用い、JIS A 1132:2006に準じて行った。

(2) 模擬柱部材から採取したコア供試体

模擬柱部材の一辺は1,000mmであり、各材齢ごとJASS 5T-605:2005「コア供試体による構造体コンクリート強度の推定方法（案）」¹⁰⁾に準じて中央部および外周部から1本ずつ採取し、上下それぞれ100mmを取り除いたコアを4分割してφ100×200mmの円柱に成形した。すなわち、各調合、各材齢において中央部および外周部でそれぞれ12本（夏期、標準期、冬期の打込み時期で各4本）作製した。なお、模擬柱部材における各調合の最高温度を表2に示す。

(3) 簡易断熱養生供試体

試料採取後直ちに発泡スチロールを用いた簡易断熱養生槽に静置し、所定の材齢までJASS 5T-606:2005に準じて養生を行った。供試体の形状および寸法はφ100×200mmの円柱とし、各調合、各材齢においてそれぞれ9本（夏期、標準期、冬期の打込み時期で各3本）作製した。また、供試体の作製は、軽量型枠を用い、JIS A 1132:2006に準じて行った。簡易断熱養生における各調合の最高温度を表3に示す。

2.4 圧縮強度および静弾性係数試験方法

コンクリートの圧縮強度および静弾性係数の測定は、材齢1週、

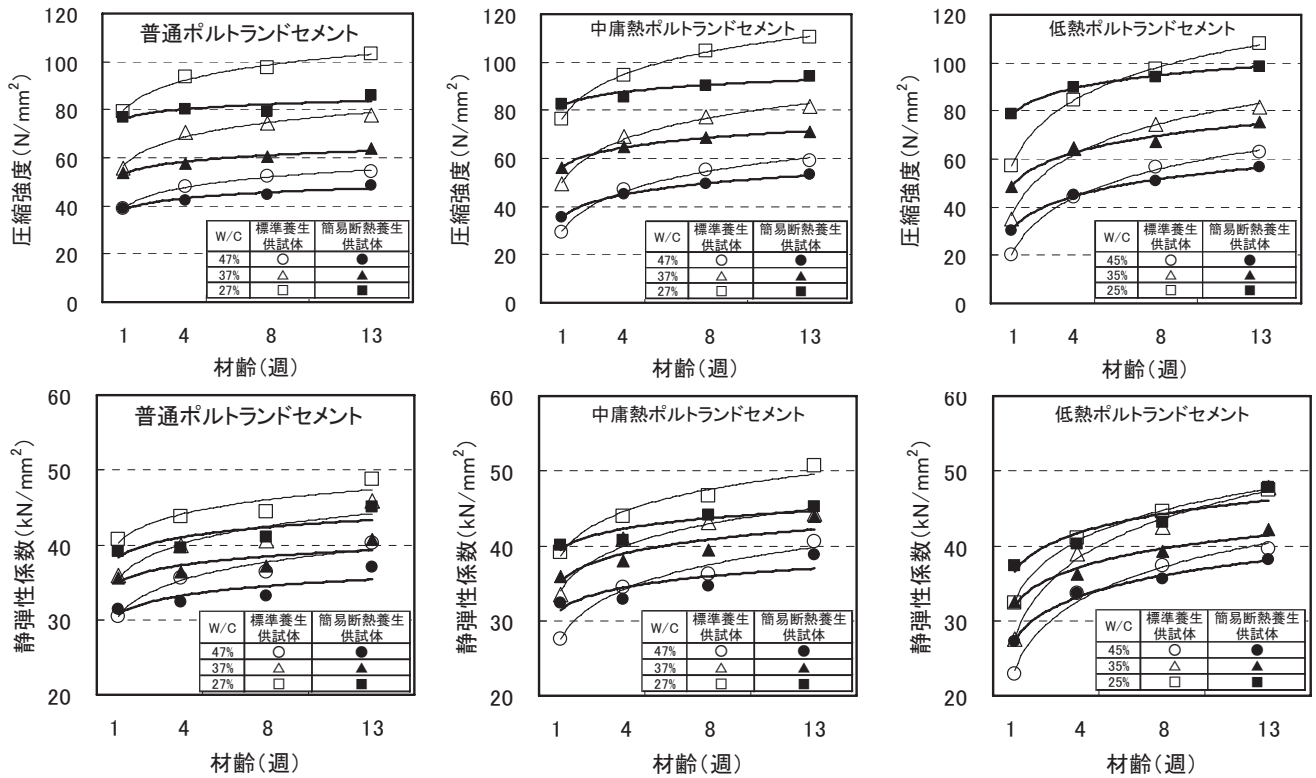


図4 各種セメントの材齢と圧縮強度および静弾性係数の関係（標準養生供試体および簡易断熱養生供試体）

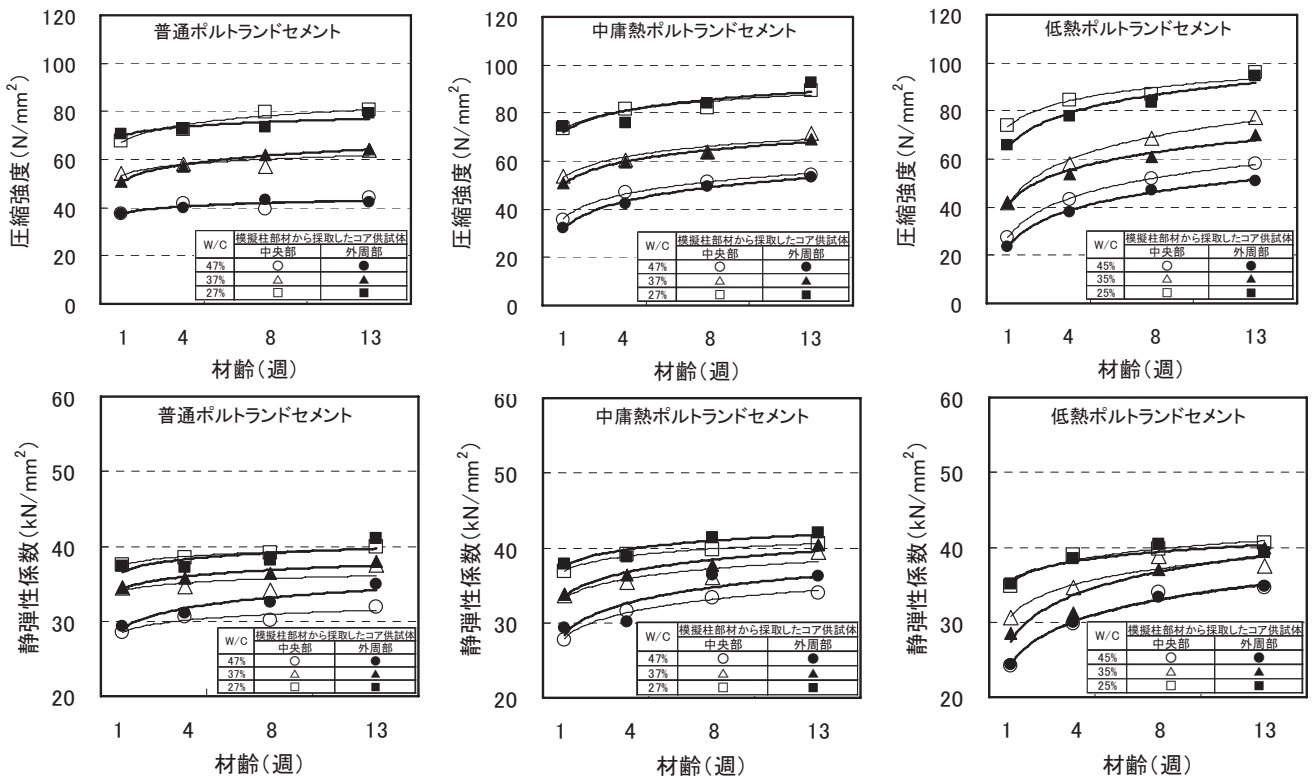


図5 各種セメントの材齢と圧縮強度および静弾性係数の関係（模擬柱部材から採取したコア供試体）

4週、8週および13週において、それぞれ JIS A 1108:2006 および JIS A 1149:2001 に準じて行った。なお、試験直前の供試体の乾湿の状態について、模擬柱部材から採取したコア供試体は、試験前まで48時間水中に浸漬しておいた湿潤状態であり、簡易断熱養生供試体は、養生袋から取り出した状態である。また、供試体端面の処

理方法は機械研磨、試験機の容量は2000kNとし、ひずみの測定にはコンプレッソメータを用いた。

3. 結果および考察

3.1 標準養生供試体、簡易断熱養生供試体および模擬柱部材から採

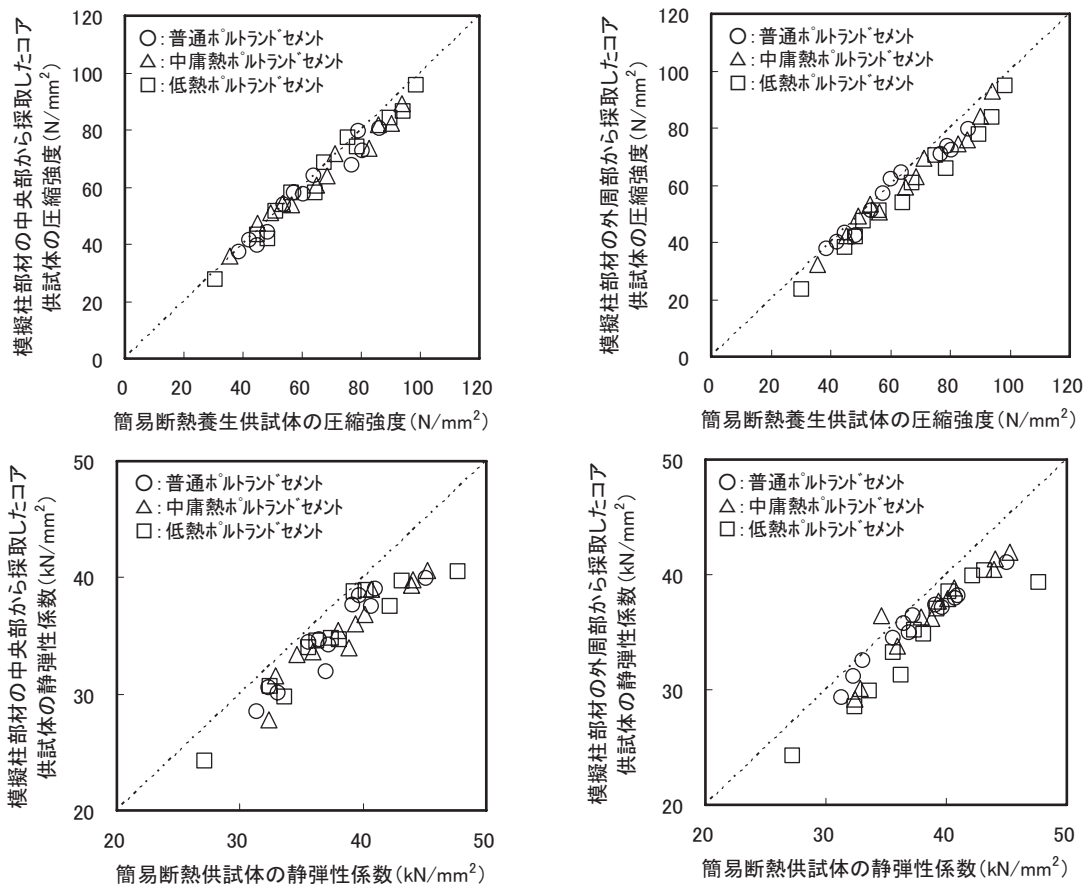


図6 簡易断熱養生供試体と模擬柱部材から採取したコア供試体の関係

取したコア供試体の強度発現と静弾性係数の関係

全ての供試体の圧縮強度と静弾性係数の関係を図1、図2および図3に示す。なお、図中にプロットした点は、供試体1本ごとのデータである。また、比較として図中に単位容積質量を 2.4t/m^3 とした構造計算規準式を実線で示した。標準養生供試体⁹⁾、簡易断熱養生供試体および模擬柱部材から採取したコア供試体いずれの場合であっても、全体的には実測値が構造計算規準式を下回る傾向にあり、模擬柱部材の中央部から採取したコア供試体において顕著に見受けられた。

著者らのこれまでの研究⁹⁾より、材齢が早期になるほど、圧縮強度の割に静弾性係数が小さくなる傾向にあることが明らかとなっているため、供試体の種類別に材齢およびセメントの種類で整理することとした。なお、今回の実験では、標準期、夏期および冬期について行った各調査の実験結果を平均値として用いることとした。これは、同じ調査における標準期、夏期および冬期の供試体の圧縮強度試験結果および静弾性係数試験結果の変動係数が概ね8%程度であり、打込み時期の影響が小さいためである。

簡易断熱養生供試体について、調査ごとに圧縮強度と静弾性係数の平均値から検討した各種セメントの材齢と圧縮強度および静弾性係数の関係を図4に示す。なお、比較のために、標準養生供試体の結果もプロットした。簡易断熱養生供試体は、標準養生供試体よりも材齢の進行による圧縮強度および静弾性係数の増加の程度は小さくなる傾向にあった。そのため、簡易断熱養生供試体では、著者らのこれまでの研究⁹⁾の標準養生供試体に見受けられた圧縮強度が同じ

であっても材齢が早期になるほど静弾性係数が小さくなるという傾向は、小さくすると推測される。模擬柱部材から採取したコア供試体について、調査ごとに圧縮強度と静弾性係数の平均値から検討した各種セメントの材齢と圧縮強度および静弾性係数の関係を図5に示す。模擬柱部材から採取したコア供試体の中央部および外周部ともに、標準養生供試体よりも材齢の進行による圧縮強度および静弾性係数の増加の程度は小さくなる傾向にあった。また、中央部および外周部の試験結果を詳しく見ると、圧縮強度は中央部の方が外周部より、逆に静弾性係数は外周部の方が中央部より若干大きくなる傾向にあった。これは、養生条件などによって強度発現の違いが静弾性係数に影響を及ぼしていることを示唆している。

簡易断熱養生供試体と模擬柱部材から採取したコア供試体の圧縮強度および静弾性係数の関係を図6に示す。同じ調査における簡易断熱養生供試体および模擬柱部材から採取したコア供試体の圧縮強度は、 $80\sim 100\text{N/mm}^2$ 程度になると模擬柱部材から採取したコア供試体の方が若干小さくなるものの、概ね一致した。しかし、同じ調査における静弾性係数は、模擬柱部材から採取したコア供試体の方が簡易断熱供試体より小さくなる傾向にあり、特に静弾性係数が 40kN/mm^2 程度を超えるとこの傾向は顕著であった。これには、簡易断熱養生供試体の型枠寸法は $\phi 100\times 200\text{mm}$ であるのに対して、模擬柱部材の型枠は $1,000\times 1,000\times 1,000\text{mm}$ と大きいため、水和熱による強度発現性の差、部材内の圧密、コンクリートの締固めの影響、コアを採取することによる骨材の緩みおよび供試体表面のペースト皮膜の有無などの影響が考えられる¹²⁾。既往の研究では、実

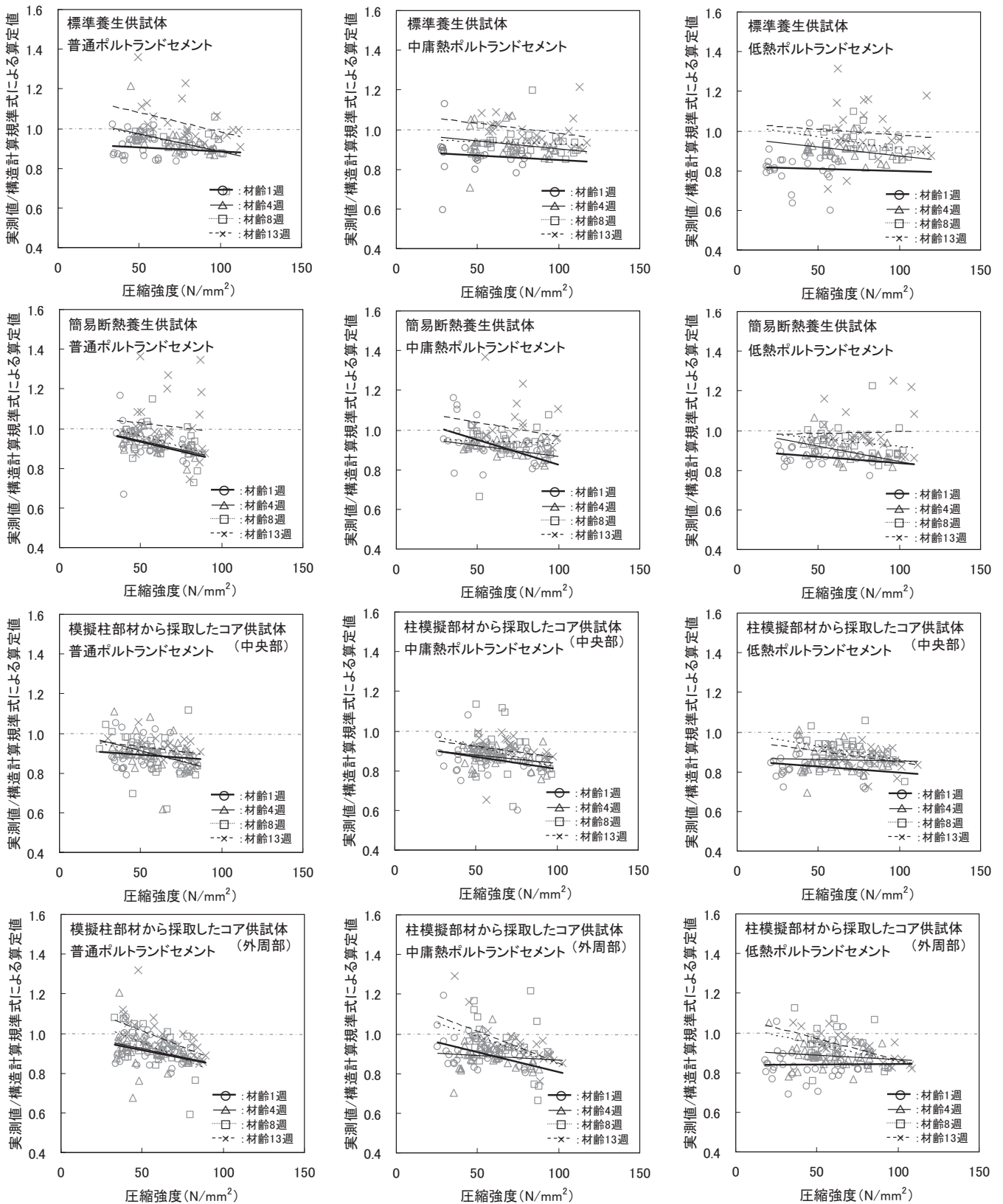


図7 圧縮強度と静弾性係数の実測値/構造計算規準式による算定値の関係

大モデルの構造体から採取したコア供試体と現場水中養生供試体を比較した場合、圧縮強度はほぼ同じであっても圧縮強度よりも敏感な引張強度や動弾性係数はコア供試体の方が小さくなるという報告¹³⁾があり、今回の実験における静弾性係数についても同様の傾向が

見受けられたと考えられる。

3.2 標準養生供試体、簡易断熱養生供試体および模擬柱部材から採取したコア供試体の圧縮強度と静弾性係数の発現性が構造計

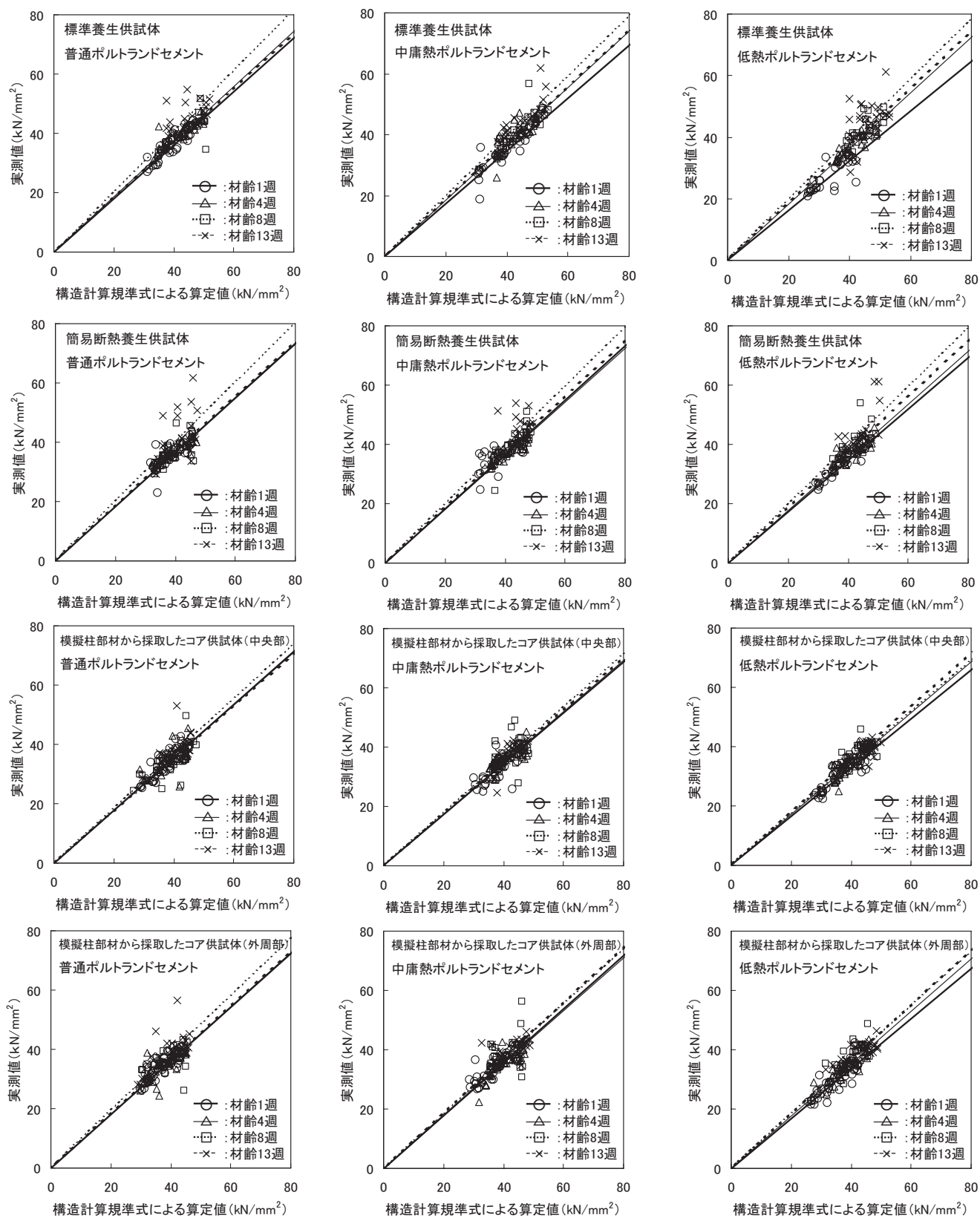


図8 構造計算規準式による算定値と静弾性係数の実測値の関係

算規準式に及ぼす影響

(1) 圧縮強度と静弾性係数の実測値/構造計算規準式による算定値の関係

静弾性係数の実測値を、式(1)に示した構造計算規準式から求めた

算定値で除した値を図7に示す。なお、構造計算規準式によって静弾性係数を算定する際に、実測の圧縮強度および単位容積質量を用い、また、粗骨材による係数に石灰岩碎石を用いたため $k_1=1.2$ を、混和材による係数に $k_2=1.0$ を用いた。

表 4 構造計算規準式による算定値に対する静弾性係数の実測値の比（強度発現係数）

供試体の種類	セメントの種類	コンクリートの材齢				
		1 週	4 週	8 週	13 週	
標準養生供試体 ⁸⁾	普通ポルトランドセメント	0.90	0.93	0.92	1.02	
	中庸熱ポルトランドセメント	0.87	0.92	0.93	0.99	
	低熱ポルトランドセメント	0.81	0.90	0.93	0.98	
簡易断熱養生供試体	普通ポルトランドセメント	0.92	0.91	0.93	1.01	
	中庸熱ポルトランドセメント	0.91	0.90	0.94	1.00	
	低熱ポルトランドセメント	0.86	0.89	0.94	0.99	
模擬柱部材から採取したコア供試体	中央部	普通ポルトランドセメント	0.89	0.89	0.88	0.93
	外周部		0.90	0.91	0.91	0.97
	中央部	中庸熱ポルトランドセメント	0.86	0.87	0.88	0.90
	外周部		0.90	0.89	0.93	0.93
	中央部	低熱ポルトランドセメント	0.82	0.86	0.90	0.87
	外周部		0.84	0.88	0.92	0.92

$$E=k_1 \times k_2 \times 3.35 \times 10^4 \times (\gamma/2.4)^2 \times (\sigma_B/60)^{1/3} \quad (1)$$

ただし、E：コンクリートの静弾性係数（N/mm²）

γ：コンクリートの単位容積質量（t/m³）

σ_B：コンクリートの圧縮強度（N/mm²）

k₁：粗骨材の種類により定まる修正係数

k₂：混和材の種類により定まる修正係数

標準養生供試体の場合、材齢が早期であるほど実測値は構造計算規準式から求めた算定値より小さくなる傾向にあり、その傾向は低熱ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、普通ポルトランドセメントの順で見受けられた。また、簡易断熱養生供試体の場合は、標準養生供試体の場合と同様に材齢が早期であるほど実測値は計算規準式から求めた算定値より小さくなる傾向にあるが、材齢やセメントの種類の違いによる影響は標準養生供試体の場合よりも小さくなった。そして、標準養生供試体および簡易断熱養生供試体のいずれの場合でも、材齢 13 週において圧縮強度が大きくなるほど若干実測値に対する算定値の比率が小さくなる傾向にはあるが、概ね材齢 13 週をポテンシャルと見ること、圧縮強度と静弾性係数の関係を構造計算規準式で表すことがよいと考えられる。一方、模擬柱部材から採取したコア供試体の場合は、中央部において材齢 13 週での静弾性係数の実測値が構造計算規準式から求めた算定値より小さくなる傾向が顕著に見受けられた。

(2) 構造計算規準式による算定値と各種セメントの強度発現の関係

構造計算規準式から求めた算定値と静弾性係数の実測値の関係を図 8 に示す。ここで、標準養生および簡易断熱養生の場合、各種セメントおよび各材齢の供試体 27 本（標準期、夏期、冬期の打込み時期でそれぞれ 3 調合各 3 本の供試体）について、また模擬柱部材の中央部および外周部から採取したコア供試体の場合、各種セメントおよび各材齢の供試体 36 本（標準期、夏期、冬期の打込み時期でそれぞれ 3 調合各 4 本の供試体）について、原点を通る回帰直線

を最小二乗法により示した。そして、その回帰係数（回帰直線の傾き）を材齢ごとに求めると、表 4 のようになる。ここでは、コア採取の影響も含まれているが、回帰係数を強度発現係数とする。また、図 7 において、同じ材齢であっても圧縮強度が大きくなるほど実測値に対する算定値の比が若干小さくなる傾向にはあるが、図 8 および表 4 においては、この比の変化は小さいと考え、供試体の種類、セメントの種類および材齢のみで整理することとした。

コンクリートの材齢が 13 週の場合は、標準養生供試体および簡易断熱養生供試体のいずれの場合でも、強度発現係数がほぼ 1 となり構造計算規準式を用いて算出した値とほぼ一致した。しかし、材齢が早期であるほど強度発現係数は小さくなるすなわち実測値は構造計算規準式で算定した静弾性係数より小さくなる傾向にあり、その傾向は簡易断熱養生供試体に比べて標準養生供試体の方が、セメントの種類では低熱ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、普通ポルトランドセメントの順で顕著となった。一方、模擬柱部材から採取したコア供試体の強度発現係数は、いずれの材齢およびセメントの種類においても、簡易断熱養生供試体の強度発現係数より小さくなる傾向にあった。これは、3.1 でも述べたようにコアを採取することによる影響が大きいと考えられる。また、模擬柱部材の中央部から採取したコア供試体の強度発現係数が外周部から採取したコア供試体の強度発現係数よりも小さくなる傾向にあった。これは、模擬柱部材の外周部に比べて中央部の方が水和熱の影響を大きく受けるため、静弾性係数の発現に何らかの影響を及ぼしていると考えられる。

これらのことより、標準養生供試体の管理材齢 4 週において、構造計算規準式を用いて静弾性係数を算定すると実測値と比べて 10% 程度小さくなるが、簡易断熱養生供試体における管理材齢 13 週では、構造計算規準式による静弾性係数は概ね実測値と一致する。すなわち、材齢 13 週をポテンシャルと見ること、圧縮強度と静弾性係数の関係を求めることが望ましいが、各材齢における圧縮強度から静弾性係数を算定する場合には、表 4 に示す強度発現係数を構造計算規準式に乗じるという方法も一案として考えられる。また、

表 5 各養生における高強度コンクリートの材齢ごとの構造計算基準式による静弾性係数評価の適合性
(構造計算規準式の算定値と今回の実験の普通ポルトランドセメントを用いた材齢 4 週の標準養生供試体の実測値が等しいと仮定した場合)

供試体の種類		セメントの種類	コンクリートの材齢			
			1 週	4 週	8 週	13 週
標準養生供試体		普通ポルトランドセメント	過大	基準	同程度	過小
		中庸熱ポルトランドセメント	過大	同程度	同程度	過小
		低熱ポルトランドセメント	過大	過大	同程度	過小
簡易断熱養生供試体		普通ポルトランドセメント	同程度	同程度	同程度	過小
		中庸熱ポルトランドセメント	同程度	同程度	同程度	過小
		低熱ポルトランドセメント	過大	過大	同程度	過小
模擬柱部材 から採取し たコア供試体	中央部	普通ポルトランドセメント	過大	過大	過大	同程度
	外周部		過大	同程度	同程度	同程度
	中央部	中庸熱ポルトランドセメント	過大	過大	過大	同程度
	外周部		過大	過大	同程度	同程度
	中央部	低熱ポルトランドセメント	過大	過大	過大	過大
	外周部		過大	過大	同程度	同程度

コア供試体を用いる場合は、コア採取による影響や水和熱による影響が考えられるため、例えば管理材齢 13 週であっても、表 4 に示したような補正を行うことで算定値と実測値はほぼ同じになると考えられる。

一方、今回の実験は一種類の石灰石骨材を用いた場合の結果であることを考慮して、普通ポルトランドセメントを用いて標準養生を行った管理材齢 4 週における供試体の静弾性係数の実験値と構造計算規準式による算定値が等しくなると仮定し、その場合に構造計算規準式がどのように評価してしまう可能性があるかをまとめると表 5 のようになる。なお、表 5 における網掛け部は、構造計算規準式では静弾性係数を過大評価する可能性があるところを示している。標準養生供試体の場合、管理材齢 4 週においては、低熱ポルトランドセメントを用いた場合に実測値が小さくなる、すなわち構造計算規準式では過大に評価してしまう可能性がある。一方、管理材齢 13 週の模擬柱部材から採取したコア供試体では、普通ポルトランドセメントを用い標準養生を行った材齢 4 週の供試体の構造計算規準式による評価に対して概ね同程度の評価となるが、低熱ポルトランドセメントを用いた場合には中央部からコアを採取すると実測値は小さくなる、すなわち構造計算規準式では過大に評価してしまう可能性がある¹⁴⁾。また、標準養生供試体および簡易断熱養生供試体が材齢 13 週において実測値の方が大きくなる、すなわち構造計算規準式では過小評価してしまうことに対してコア供試体が同程度の評価になるのは、コアを採取することによる骨材の緩みと供試体表面に高強度なセメントペーストの皮膜による拘束効果がないため静弾性係数が小さくなることによると考えられる。

4. まとめ

石灰石骨材を用いた設計基準強度 60N/mm² 程度の高強度コンクリートについて、標準養生供試体、簡易断熱養生供試体および模擬柱部材から採取したコア供試体の強度発現性と静弾性係数の関係を検討した結果、以下のことが明らかとなった。

(1)高強度コンクリートの静弾性係数は、例えば圧縮強度が同じ程度で

あっても、材齢が早期であるほど小さくなる傾向にあり、その傾向は簡易断熱養生供試体に比べて標準養生供試体の方が、またセメントの種類では低熱ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、普通ポルトランドセメントの順で顕著に見受けられた。

- (2)同じ程度の圧縮強度であっても、模擬柱部材から採取したコア供試体の静弾性係数は、簡易断熱養生供試体の静弾性係数よりも若干小さくなる傾向にあった。
- (3)構造計算規準式によって高強度コンクリートの静弾性係数を算出するときは、標準養生供試体および簡易断熱養生供試体いずれの場合でも、材齢 13 週のと看に行くと算定値と実測値の関係が成立する傾向にあった。しかし、模擬柱部材から採取したコア供試体の場合は、材齢 13 週においても実測値が算定値を下回る傾向にあり、特に中央部から採取した場合に顕著であった。
- (4)概ね材齢 13 週をポテンシャルと見ることで、圧縮強度と静弾性係数の関係を求めることが望ましいが、各材齢における標準養生供試体、簡易断熱養生供試体および模擬柱部材から採取したコア供試体の静弾性係数の実測値と構造計算規準式の算定値を比較する場合には、表 4 に示す強度発現係数を構造計算規準式に乗じるという方法も一案として考えられる。
- (5)普通ポルトランドセメントを用いて標準養生を行った管理材齢 4 週における供試体の構造計算規準式の評価に対して、低熱ポルトランドセメントを用いた場合には過大評価してしまう可能性がある。また、管理材齢 13 週における模擬柱部材から採取したコア供試体は、普通ポルトランドセメントを用い標準養生を行った材齢 4 週の供試体の構造計算規準式による評価に対して概ね同程度の評価となるが、低熱ポルトランドセメントを用いた場合には中央部からコアを採取すると過大評価してしまう可能性がある。

今後、高強度領域で骨材量の占める割合が変動した場合の圧縮強度と静弾性係数の関係を検討していく予定である。

謝辞

本実験にあたっては、毛見虎雄博士（前足利工業大学）ならびに飛坂基夫博士（飛坂技術士事務所）に数々のご助言を頂きました。また、多くの実験を前ものつくり大学中田研究室の学生に実施して頂きました。ここに、付記し謝意を表します。

参考文献

- 1)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp.185-187，2009
- 2)日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－，pp.38-39，1999
- 3)野口貴文，友澤史紀：高強度コンクリートの圧縮強度とヤング係数との関係，日本建築学会構造系論文集，第474号，pp.1-10，1995.8
- 4)西田浩和，山尾信一，横須賀誠一，小林仁：高強度コンクリートの強度補正值に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），A-1 分冊，pp.9-10，1999.9
- 5)西田朗，山崎庸行，名和豊春：高強度コンクリートのヤング係数評価に関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），A-1 分冊，pp.81-82，2007.8
- 6)岩清水隆，角彰：関西地区におけるコンクリートのヤング係数の実態調査と構造設計におけるヤング係数設定方法の一提案，コンクリート工学，Vol.42，No.12，pp.15-22，2004.12

- 7)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp.179-184，2009
- 8)中田善久，澤本武博，大塚秀三，春山信人：各種セメントを用いた高強度コンクリートの強度発現性が静弾性係数に及ぼす影響に関する一考察，日本建築学会構造系論文集，第622号，pp.17-23，2007.12
- 9)日本建築学会：高強度コンクリートの施工指針（案）・同解説，pp.308-309，2005
- 10)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp.705-706，2009
- 11)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp.703-704，2009
- 12)森本和雅，中田善久，大塚秀三，大木崇輔，毛見虎雄：異なる大きさの高強度コンクリート部材から採取したコア供試体の力学的特性について，2008年度日本建築学会関東支部研究報告集，材料・施工，2009.3
- 13)小林幸一：非破壊試験による構造体コンクリート及びセメント系改良地盤の品質評価方法に関する研究，芝浦工業大学博士論文，pp.63-64，2008.9
- 14)梅本宗宏，篠崎徹，板谷俊郎，平賀友晃：低熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートの柱構造体強度の検討，コンクリート工学年次論文報告集，第18巻，第1号，pp.309-314，1996

（2009年6月6日原稿受理，2009年10月2日採用決定）