

各種セメントを用いた高強度コンクリートの 材齢の進行が静弾性係数に及ぼす影響

ものづくり大 ○澤本 武博 ものづくり大 中田 善久
日大理工（院） 大塚 秀三

1 はじめに

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」¹⁾では静弾性係数の算定に「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」²⁾の New RC 式³⁾が示されており、また土木学会「コンクリート標準示方書[構造的な性能照査編]」⁴⁾でも全国を調査した結果の圧縮強度と静弾性係数の関係が示されている。しかし、これらの静弾性係数の算定には、圧縮強度や単位容積質量に加えて骨材および混和材の種類は考慮されているものの、セメントの種類やコンクリートの材齢の影響について考慮するまでには至っていない。

本研究では、各種セメントを使用した高強度コンクリートの材齢の進行が圧縮強度と静弾性係数の関係に及ぼす影響を明らかにし、静弾性係数推定の向上に役立つ可能性を示した。

2 実験概要

2.1 使用材料

使用したセメントは、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種類であり、骨材には栃木県栃木市尻内町産陸砂および最大寸法20mmの栃木県安蘇郡葛生町産石灰岩碎石を用いた。また、混和剤には、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を用いた。使用材料の物理的性質は、表1に示す通りである。

2.2 コンクリートの調合

コンクリートの調合は、表2に示した通りである。いずれのセメントを用いた場合にも、水セメント比を3段階に変化させ、それぞれ公称容量3m³の実機ミキサで練混ぜを行った。

供試体の形状および寸法はφ100×200mmの円柱とし、各調合においてそれぞれ9本（標準期、夏期、冬期の3シーズンで各3本）作製した。そのため、試料採取時のコンクリートの温度は10～33℃の範囲にあったが、試料採取後直ちに20℃の試験室に静置し、材齢1日で脱型して、所定の材齢まで20℃の水中で標準養生を行った。

2.3 静弾性係数試験

コンクリートの圧縮強度および静弾性係数

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (比表面積 3290cm ² /g、密度 3.16g/cm ³)
	中庸熱ポルトランドセメント (比表面積 3230cm ² /g、密度 3.21g/cm ³)
	低熱ポルトランドセメント (比表面積 3430cm ² /g、密度 3.22g/cm ³)
細骨材	栃木県栃木市尻内町産陸砂 (表乾密度 2.61g/cm ³ 、粗粒率 2.75)
粗骨材	栃木県安蘇郡葛生町産石灰岩碎石 (表乾密度 2.70g/cm ³ 、実積率 60.0%)
混和剤	ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤

表2 コンクリートの調合

セメントの種類	W/C (%)	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
						W	C	S	G	Ad*(C×%)
普通ポルトランドセメント	47	21±2	—	4.5±1.5	50.6	175	373	874	883	0.95～1.25
	37	—	50±7.5		50.7	170	460	846	851	1.20～1.40
	27	—	60±10		46.2	170	630	707	851	1.20～1.50
中庸熱ポルトランドセメント	47	21±2	—		50.8	175	373	880	883	0.95～1.15
	37	—	50±7.5		50.9	170	460	853	851	1.15～1.40
	27	—	60±10		45.9	170	630	715	851	1.20～1.50
低熱ポルトランドセメント	45	21±2	—		51.0	170	378	890	883	0.90～1.15
	35	—	50±7.5		51.0	165	472	856	851	1.10～1.30
	25	—	60±10		46.1	165	660	705	851	1.10～1.25

*高性能 AE 減水剤

の測定は、材齢 1 週、4 週、8 週および 13 週において、それぞれ JIS A 1108 および JIS A 1149 に準じて行った。

3 実験結果および考察

図 1 は、コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係を示したものであり、材齢ごとに整理し直すと図 2 のようになる。なお、今回の実験では、いずれの供試体の単位容積質量も 2.4t/m³ 付近であったため、比較として図中に単位容積質量を 2.4t/m³ とした New RC 式を実線で示した。コンクリートの材齢が早期であるほど静弾性係数は New RC 式より小さくなる傾向にあり、特に材齢 1 週の場合に顕著に見受けられた。これは、短期材齢と長期材齢において同じ圧縮強度を期待すると、短期材齢で強度発現を期待する場合には、単位セメント量を多くし骨材量を少なくする必要があり、逆に長期材齢で強度発現を期待する場合には、単位セメント量を少なくし骨材量を多くすることが一つの要因として考えられる。例えば、普通ポルトランドセメントを使用して材齢 13 週でおよそ 60N/mm² の圧縮強度を期待すると、今回の実験の場合は水セメントが 47% の調合（細骨材の絶対容積 335ℓ/m³、粗骨材の絶対容積

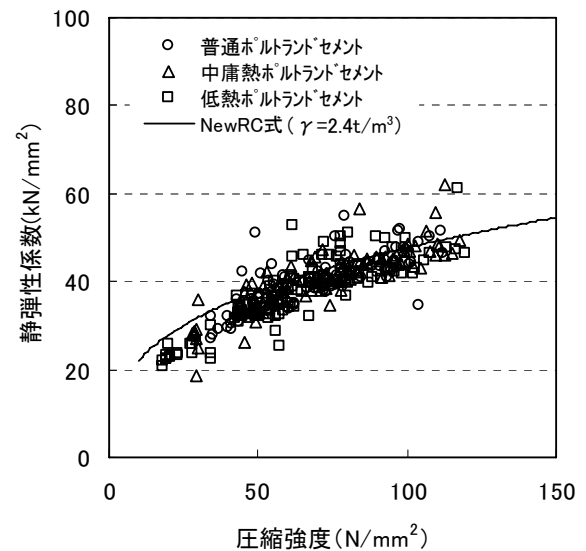


図1 圧縮強度と静弾性係数の関係

327ℓ/m³、全骨材の絶対容積 662ℓ/m³) となり、静弾性係数は図 2(iv) の 42kN/mm² 付近にある。一方、低熱ポルトランドセメントを使用して材齢 1 週でおよそ 60N/mm² の圧縮強度を期待すると、水セメントが 25% の調合（細骨材の絶対容積 270ℓ/m³、粗骨材の絶対容積 315ℓ/m³、全骨材の絶対容積 585ℓ/m³) となり、静弾性係数は図 2(i) の 33kN/mm² 付近にあり、9kN/mm² 程度小さくなる。なお、今回の実験では、いずれの調合においても単位粗骨材かさ容積を 0.53～0.55m³/m³ としたため、セメントペーストよりも静弾性係数の大きい全骨材

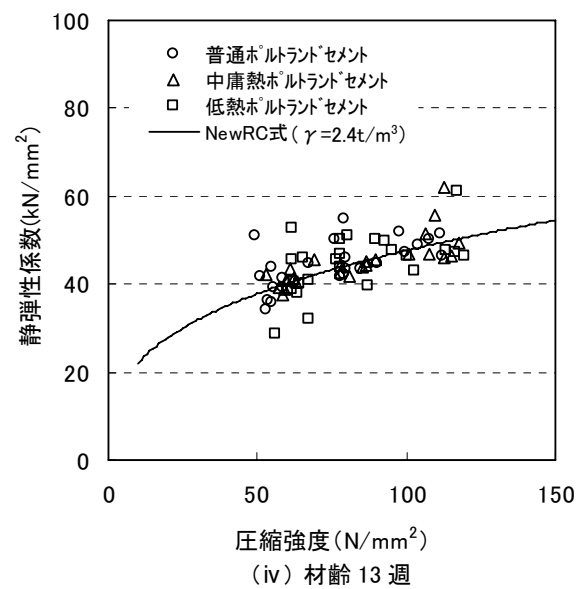
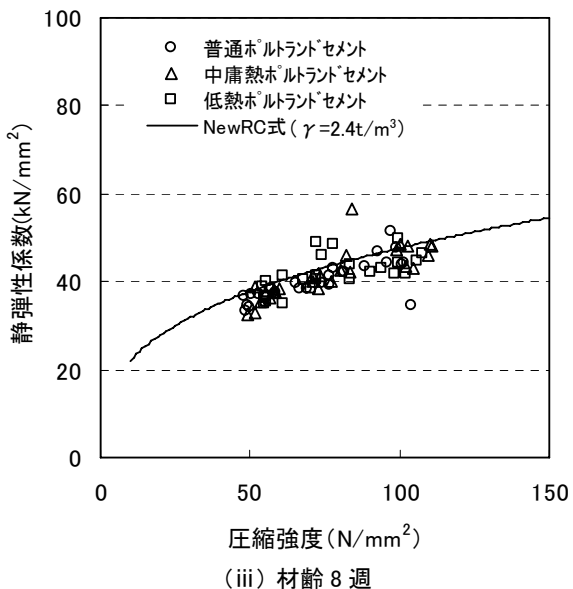
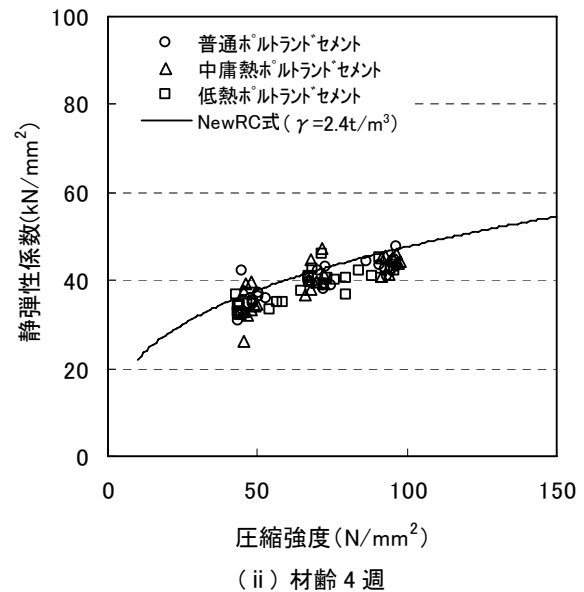
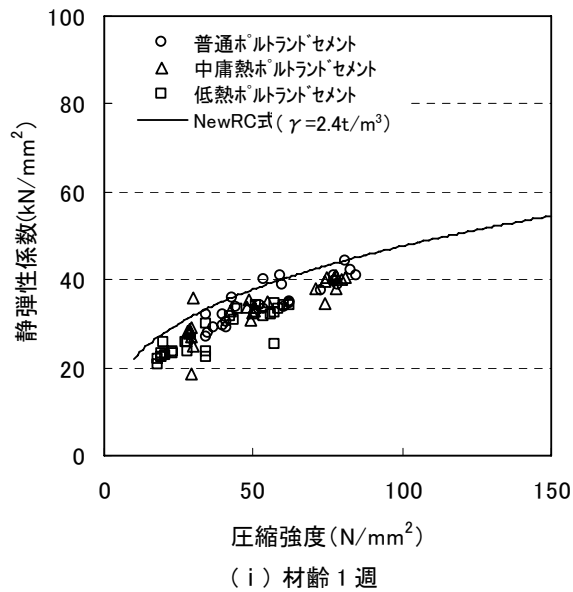


図2 材齢に伴う圧縮強度と静弾性係数の関係

量すなわち粗骨材量と細骨材量の総和が影響していると考えられる⁵⁾。

また、今回の実験の範囲では、全ての調合において骨材量が異なっているために一概には言えないが、同一水セメント比で単位粗骨材かさ容積を $0.35m^3/m^3$ 変化させても静弾性係数は $5kN/mm^2$ 程度しか変化しないという過去の実験結果⁶⁾を考慮すると、各種セメントの水和の進行が圧縮強度と静弾性係数の関係に何らかの影響を及ぼしている可能性もある。

ここで、それぞれの使用したセメントにおい

て、材齢別に静弾性係数の実測値と式(1)に示した New RC 式から求めた算定値とを比較検討した。なお、New RC 式によって静弾性係数を算定する際には、実測の圧縮強度および単位容積質量を代入し、また骨材による係数には石灰岩碎石を用いたため 1.2 を、混和材による係数には 1.0 を代入した。

そして、図 3 のように各種セメントおよび各材齢の供試体について、最小二乗法により原点を通る回帰直線を求め、その回帰係数(回帰直線の傾き)を示すと表 3 のようになる。

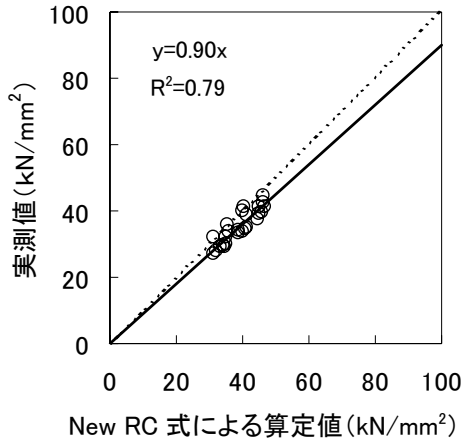


図3 静弾性係数の実測値と New RC 式による算定値の関係
(普通ポルトランド, 材齢 1 週)

$$E=33.5 \times k_1 \times k_2 \times (\gamma/2.4)^2 \times (F_c/60)^{1/3} \quad (1)$$

ただし、

E : コンクリートの静弾性係数 (kN/mm^2)

γ : コンクリートの単位容積質量 (t/m^3)

F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

k_1 : 骨材による係数

k_2 : 混和材による係数

今回の実験の範囲では、材齢が早期であるほど回帰係数は小さくなるすなわち New RC 式では大きく算定される傾向にあり、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大きくなった。このように、材齢が 13 週より早期であると New RC 式で静弾性係数を求めた場合に危険側に算出される恐れがあるため、New RC 式に例えば表 3 のような各種セメントにおけるコンクリートの材齢による補正係数を設けることも静弾性係数推定の向上に繋がる可能性がある。

4 まとめ

- (1) コンクリートの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は小さくなる傾向にあり、低熱ポルトランドセメントを使用した場合に顕著であった。

表3 New RC 式に対する回帰係数

セメントの種類	コンクリートの材齢			
	1 週	4 週	8 週	13 週
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

- (2) 材齢が早期であるほど New RC 式で算出した静弾性係数よりも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大きくなった。そのため、New RC 式に各種セメントにおけるコンクリートの材齢による補正係数を設けることも静弾性係数推定の向上に繋がる可能性がある。

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, (2003), p.170
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説－許容応力度設計法－, (1999), pp.38-39
- 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, (1995), pp.1-10
- 4) 土木学会：2002 年制定コンクリート標準示方書[構造性能照査編], (2002), pp.28-29
- 5) 川上英男：コンクリートの弾性係数と圧縮強度の関係についての一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, (2006), pp.449-454
- 6) 中田善久, 高野肇, 毛見虎雄, 笠井芳夫, 松井勇：粗骨材とモルタルの構成割合を変えた高流動コンクリートの性状に関する一考察, 日本建築学会技術報告集, 第 6 号, (1998), pp.1-6