

超高強度コンクリートの配合の違いによる機械的性質に関する研究

日大生産工(院) ○殿廣 泰史 日大名譽教授 阿部 忠
日大生産工 水口 和彦 浅野工専 加藤 直樹

1. はじめに

近年、100 N/mm²以上の高強度コンクリートに大きな関心もたれ、特殊な混和材(剤)との併用により比較的容易に製造可能となっており、コンクリート技術の革命といえる。かくして、構造材の高強度・高耐久化が可能となっている。本報では、超高強度コンクリート作製の材料を用い、目標の強度を容易に得られるための配合表の作成を目指し、配合の異なる9種のコンクリート供試体について、圧縮強度および、各弾性係数について比較を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメント：D社製 超高強度用(普通ポルトランドセメント, 高炉石こう系混和材, シリカフェームのプレミックスタイプ) $\rho_c=2.99\text{g/cm}^3$

細骨材：山梨県大月市産 安山岩砕砂
 $\rho_s=2.63\text{g/cm}^3$

粗骨材：東京都青梅市産 硬質砂岩碎石
(2005) $\rho_g=2.65\text{g/cm}^3$

混和剤：P社製 超高強度用高性能減水剤
(主成分：ポリカルボン酸エーテル化合物)

P社製 空気量調整剤

(主成分：ポリアルキリングリコール誘導体)

2.2 配合

表-1に、本実験で用いた9種{水セメント比(以下、W/C) 15%~50%}の配合および設計基準強度(材齢28日)を示す。

表-1 配合一覧

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					設計基準強度 (N/mm ²)
	W	C	S	G	Ad	
50	150	300	1074	905	—	95.5
45	150	333	1044	904	0.194	97.4
40	150	375	1007	903	1.296	100.6
35	150	429	958	900	2.713	104.3
30	150	500	896	896	4.576	109.1
25	150	600	807	890	7.200	116.0
20	150	750	675	881	11.136	126.3
18	150	834	601	875	13.340	132.4
15	150	1001	458	860	17.696	143.4

2.3 供試体作製

練り混ぜについては強制2軸ミキサーを使用した。十分に練り混ぜした後、ただちにスランプフロー試験、空気量試験、コンクリート温度を測定した。コンクリートの潜在強度をみるため、空気量が顕著(目安として1.5%超)にみられた場合は、空気量調整剤を所定量添加し十分に手練り後、再度空気量を測定した。その後テーブルバイブレーターで十分に締め固めを行いながら型枠に打設。28日間水中養生をもって供試体を作製した。作製した供試体は、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱供試体および、 $100 \times 100 \times 200\text{mm}$ の角柱供試体である。

2.4 圧縮载荷に伴う静弾性係数試験

円柱供試体および角柱供試体にひずみゲージを貼付け、圧縮载荷試験に伴い、静弾性係数を計測した。算出についてはJIS A 1149に基づき以下のとおりとする。

$$E_s = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \quad (1)$$

ここに、 E_s ：静弾性係数 (N/mm²)

S_1 ：最大荷重の1/3に相当する応力度 (N/mm²)

S_2 ：縦ひずみ 50×10^{-6} のときの応力度 (N/mm²)

ε_1 ： S_1 の応力によって生じる縦ひずみ

ε_2 ： 50×10^{-6}

2.5 圧縮载荷に伴う動弾性係数試験

角柱供試体にひずみゲージを貼付け、圧縮载荷時の荷重100kNごとに一時停止、超音波伝播時間を測定し、動弾性係数を算出した。算出については以下のとおりとする。

$$V = \frac{l}{T} \quad (2) \quad \text{および} \quad \mu = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_c} \quad (3) \quad \text{より,}$$

$$E_d = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot (1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu} \quad (4)$$

ここに、 V ：伝播速度 (km/s), l ：伝播距離 (mm)

T ：伝播時間 (μs), E_d ：動弾性係数 (N/mm²)

ρ ：供試体密度 (kg/m³), μ ：ポアソン比

ε_c ：各伝播速度測定時点の縦ひずみ

ε_t ：各伝播速度測定時点の横ひずみ

Mechanical Properties depends on Mix Proportions of Ultrahigh Strength Concrete

Yasufumi TONOHRO, Tadashi ABE, Kazuhiko MINAKUCHI and Naoki KATO



写真-1
超音波非破壊試験機

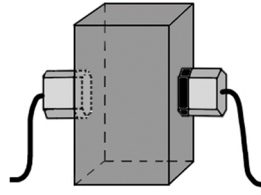


図-1
伝播時間測定
イメージ

表-2 圧縮強度と静弾性係数 (円柱供試体)

水セメント 比 W/C (%)	セメント 水比 C/W	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ³ N/mm ²)
50	2.00	48.1	32.2
45	2.22	53.3	40.9
40	2.50	61.6	31.5
35	2.86	68.5	34.8
30	3.33	109.3	35.4
25	4.00	130.5	43.5
20	5.00	141.1	44.9
18	5.56	151.2	49.2
15	6.67	134.5	57.7

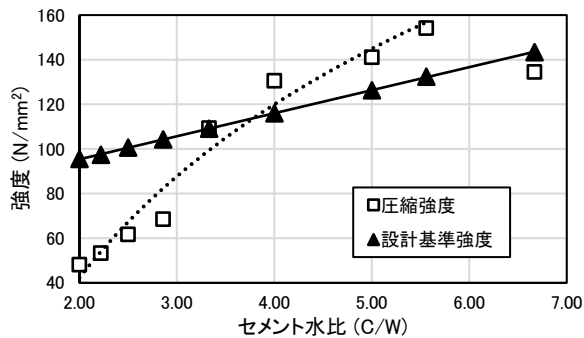


図-2 圧縮強度の比較

3. 実験結果

表-2に円柱供試体(各3本平均)の静弾性係数試験結果を示す。および、表-1で示した設計基準強度と、表-2で示した円柱供試体の圧縮強度との比較を図-2に示す。セメント水比(以下、C/W)の増加に伴い、圧縮強度は曲線的に上昇する態様を示した。C/W=3.33~5.56(W/C=30%~18%)においては、設計基準強度に近似、もしくはそれ以上の圧縮強度が得られたため、配合表の実用性が示された。しかし、C/W=2.00~2.86(W/C=50%~35%)については、設計基準強度より著しく低下していた。

図-3について、円柱供試体(各3本平均)におけるセメント水比と静弾性係数との関係および、角柱供試体(各2本平均)におけるセ

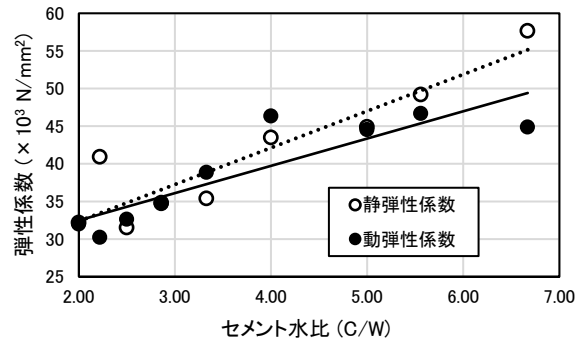


図-3 セメント水比と各弾性係数との関係

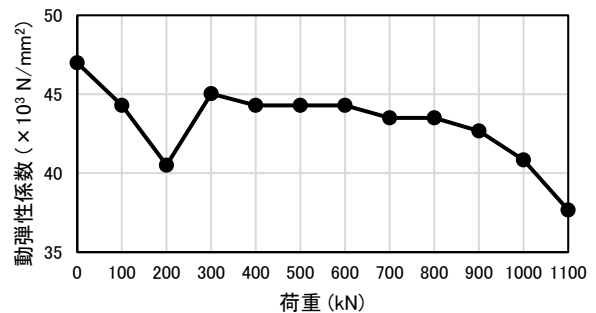


図-4 荷重と動弾性係数との関係 (W/C=18%)

メント水比と載荷前の動弾性係数(ポアソン比0.2とした)との関係図である。バラつきは見られるが、セメント水比の増加に伴い静弾性係数、動弾性係数ともに線形的に増加する。円柱供試体と角柱供試体と対象は違うが、静弾性係数の方が高い傾向が見られた。

図-4にて、角柱供試体の動弾性係数試験の一例(W/C=18%)を示す。この供試体の最大荷重は1180kNであるが、測定方法の関係上、終局強度間際の計測が難しい。可能な限り行った結果では、伝播時間・伝播速度は安定しておるため、結果として、動弾性係数はポアソン比に依存し、終局に近づくと次第に減少する傾向を示した。

4. 乾湿の違いによる影響について

4.1 実験概要

前述の試験結果を踏まえ、次に、乾湿が超高強度コンクリートに及ぼす影響について、圧縮載荷を通して、強度及び各弾性係数の比較を行った。表-1における配合において、同様の材料を用い、18%~50%の計8種のコンクリート供試体を作製した。2.3節に示した練り混ぜ手順と同様に、φ100×200mmの円柱供試体用型枠、および、100×100×200mmの角柱供試体用型枠に打設、テーブルバイブレーターで十分に締固めを行った。供試体は28日間水中養生の後、温度が安定した室内にて49日間十分に乾燥させ

たもの（以下、乾燥状態）および、乾燥の後に水中に48時間浸水させたもの（以下、湿潤状態）の2種類とした。養生後、2.4節および2.5節と同様に、圧縮荷試験に伴う静弾性係数試験および動弾性係数試験を行った。

4.2 実験結果

4.2.1 圧縮荷に伴う動弾性係数試験結果

以下の表-3に、乾燥状態および湿潤状態の円柱供試体（各3本平均）の圧縮強度と静弾性係数を示す。図-5は、表-3に基づきC/Wと圧縮強度との関係図である。C/W=2.22~3.33(W/C

表-3 圧縮強度と静弾性係数（円柱供試体）

W/C (%)	C/W	乾燥状態		湿潤状態	
		圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ³ N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ³ N/mm ²)
50	2.00	16.6	26.7	13.0	31.1
45	2.22	58.9	24.4	69.8	50.8
40	2.50	77.2	40.3	82.6	42.1
35	2.86	101.3	42.1	98.0	47.0
30	3.33	114.2	45.2	119.5	56.1
25	4.00	112.6	53.3	123.8	46.3
20	5.00	132.8	59.8	132.2	35.7
18	5.56	139.8	45.5	131.7	44.1

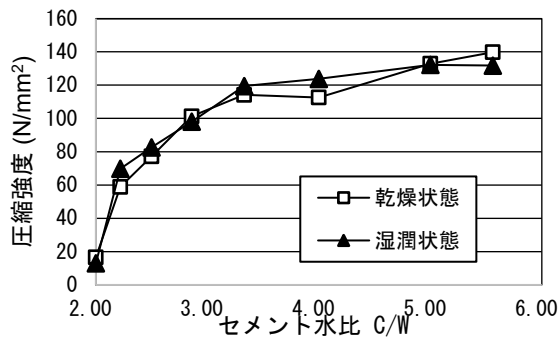


図-5 圧縮強度の比較（円柱供試体）

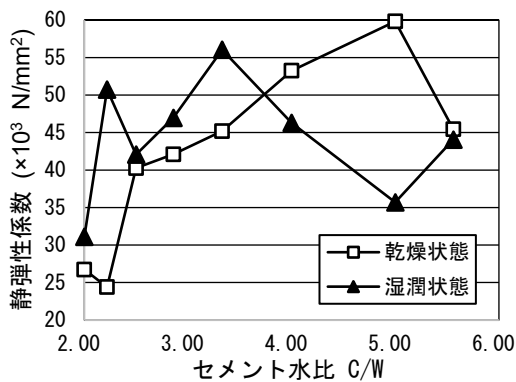


図-6 静弾性係数の比較（円柱供試体）

=45~30%)にかけ、ほぼ線形上に変化しているが、C/W=3.33~5.56(W/C=30~18%)では、より緩い傾きとなり、概ね線形上に変化している。連続として見れば、C/Wの増加に伴い、圧縮強度は曲線状に増加している。また、乾燥状態と湿潤状態との比較について、一般的に、乾燥状態のほうが湿潤状態よりも強度が高くなると言われているが、本実験結果では、さほど変わらない結果となった。図-6は、C/Wと静弾性係数との関係図である。乾燥状態の場合、概ね増加の一途を辿るのに対し、湿潤状態では不安定な態様を示している。

4.2.2 圧縮荷に伴う動弾性係数試験結果

以下の図-7に、角柱供試体に圧縮荷試験を行った際の、終局までの荷重重ごとにおける動弾性係数の推移を示す(W/C=20%とした)。3章同様、終局に近づくにつれ、僅かではあるが伝播時間が増加、つまり伝播速度が減少する。また、終局につれポアソン比も増加することにより、結果、動弾性係数は減少の一途を辿る。乾燥状態と湿潤状態とで比較すると、図-4のW/C=20%も含めて全般的に、湿潤状態が上回る結果となった。

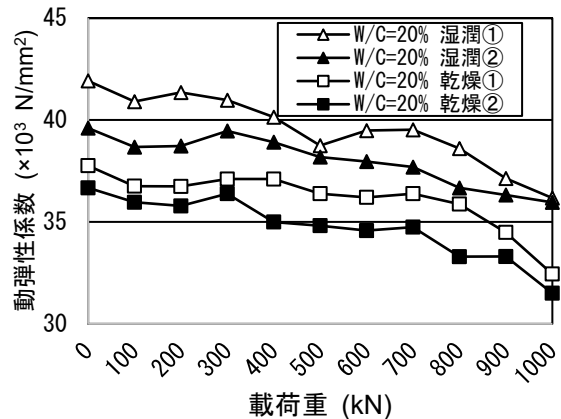


図-7 荷重と動弾性係数との関係(W/C=20%)

5. 考察

展望として、終局強度直前の伝播速度の測定法の確立などが挙げられる。また、乾燥状態のものと湿潤状態のものを比べて、超高強度コンクリートでは圧縮強度に差がないこと、湿潤状態のものは湿っているがために、W/Cが低いほどひずみが生じやすく静弾性係数が小さくなること、超音波が通りやすいため、伝播速度が大きくなり、動弾性係数が大きくなることが考えられる。

参考文献

- 1) 加藤清志：プレーンコンクリートの微小ひびわれと物性評価，土木学会論文報告集第208号，pp.121-136 (1972.12).