

第Ⅴ部門 メタケイ酸ナトリウム九水和物を用いたアルカリ活性材料コンクリートの静弾性係数に関する研究

京都大学大学院 学生員 ○堀川 瑠花
京都大学大学院 正会員 安 琳
京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

1. はじめに

アルカリ活性材料は、セメントを用いず、活性フィラーとアルカリ活性剤の反応によって硬化する材料である。二酸化炭素の排出量が少なく環境負荷の低い建設材料として注目され、国内外で研究が行われている。多くの研究で用いられる水酸化ナトリウムや水ガラスなどの溶液のアルカリ活性剤は、大量の溶解熱や粘性の問題で溶液調整を事前に行う必要があり、また、強アルカリ性で作業時の危険性が高いという問題点を有する。一方、粉体のアルカリ活性剤を用いることで安全かつ簡便に製造できるが、研究事例が少ない現状にある。そこで本研究では、粉体アルカリ活性剤を用いたアルカリ活性材料コンクリート（AAM コンクリート）の静弾性係数に着目し、圧縮強度との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 実験

2.1 使用材料、配合

AAM コンクリートの使用材料を表-1 に示す。活性フィラーには高炉スラグ微粉末（BFS）とフライアッシュ（FA）を用い、アルカリ活性剤にはメタケイ酸ナトリウム九水和物（SS9）の粉体を用いた。AAM コンクリートの配合を表-2 に示す。高炉スラグ置換率（BFS/活性フィラー全体の質量比）は 30%および 60%に調整し、アル

カリ水比（ $\text{Na}_2\text{O}/\text{H}_2\text{O}$ の質量比）は 4%, 5%, 6%, 8%, 10%および 12%に調整した。水バインダー比（ H_2O /活性フィラーの質量比）は 0.40、細骨材率は 0.45 一定とした。ただし、 H_2O （水の総量）には SS9 から溶出する結晶水の一部も含むものとして配合の計算を行った。

2.2 供試体作製

AAM コンクリートの供試体の作製には、コンクリートミキサーを使用し、活性フィラー、粉体アルカリ活性剤、骨材を空練りした後に水を投入し練り混ぜ、直径 100mm、高さ 200mm の円柱供試体に打設した。養生は RH60%、20℃の恒温室内にて封緘養生し、材齢 28 日で脱型した。

2.3 実験方法

実験に用いたコンクリートは、高炉スラグ置換率、アルカリ水比によって、表-2 に示すように 8 種類に分類され、これらについて材齢 28 日の圧縮強度（JIS A 1108）および静弾性係数（JIS A 1149）を測定した。ただし、静弾性係数は、圧縮強度の 1/3 相当の応力点と縦ひずみが 50×10^{-6} のときの応力点を結ぶ線分の勾配である割線静弾性係数である。

3. 実験結果及び考察

3.1 圧縮強度と静弾性係数

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-1 に示す。AAM コ

表-1 使用材料

種別	材料名	表記	密度 [g/cm ³]	比表面積 [cm ² /g]
付加水	水	W	1.00	
アルカリ 活性剤	メタケイ酸ナトリウム九水和物	SS9	1.67	
活性 フィラー	フライアッシュ JIS II種	FA	2.24	3530
	高炉スラグ微粉末 JIS 4000	BFS	2.91	3980
骨材	細骨材	S	2.60	
	粗骨材	G	2.62	

表-2 配合

記号	配合条件[%]		単位量[g/L]					
	高炉スラグ置換率	アルカリ水比	W	SS9	FA	BFS	S	G
A10-S30	30	10	117.0	76.5	274.3	117.6	800.6	971.1
A05-S30	30	5	136.8	38.2	274.2	117.5	804.3	975.6
A12-S60	60	12	109.1	91.8	156.8	235.3	812.9	986.0
A10-S60	60	10	117.0	76.5	156.8	235.1	814.5	987.9
A08-S60	60	8	125.0	61.2	156.8	235.2	815.8	989.5
A06-S60	60	6	132.9	45.9	156.8	235.1	817.3	991.4
A05-S60	60	5	136.9	38.2	156.8	235.2	818.0	992.2
A04-S60	60	4	140.9	30.6	156.8	235.2	818.7	993.0

Ruka HORIKAWA, Lin AN, Kunitomo SUGIURA
horikawa.ruka.36m@st.kyoto-u.ac.jp

ンクリートの静弾性係数は、圧縮強度の増加に伴って増加しており、普通コンクリートと同様の傾向が確認できた。配合条件と静弾性係数の関係については、高炉スラグ置換率およびアルカリ水比が増加すると、圧縮強度が増加するため、静弾性係数も増加する結果となったが、高炉スラグ置換率が静弾性係数に及ぼす影響はアルカリ水比に比べ顕著である傾向がみられた。これは、土木学会の定める普通コンクリートの設計用弾性係数の推定式¹⁾(図-1の実線)と比べ、高炉スラグ置換率60%の場合は高い静弾性係数を示し、30%の場合は低い静弾性係数を示すことから認められる。これより、AAMコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係は、高炉スラグ置換率によって変化することが考えられる。

3.2 圧縮強度と静弾性係数の回帰式

高炉スラグ置換率が60%で一定の場合において、圧縮強度と静弾性係数の回帰式を考える。図-1に示すように圧縮強度と静弾性係数の関係には高い相関性がみられ、その関係を普通コンクリートと同じように、式(1)に示すような圧縮強度の指数関数で表す。

$$E = a \times f_c^b \quad (1)$$

ここで、 E : 静弾性係数 (kN/mm^2)、 f_c : 圧縮強度 (N/mm^2)、 a 、 b : 定数である。普通コンクリートの静弾性係数は、圧縮強度が 36 N/mm^2 程度以下で一般に圧縮強度の平方根に比例し、それより高強度になると圧縮強度の3乗根に比例するようになる²⁾。これを踏まえ、高炉スラグ置換率60%の6種類のAAMコンクリート(圧縮強度は $12 \sim 46 \text{ N/mm}^2$ 程度)について、 $b = 1/2, 1/3$ とすると、式(2)、式(3)に示す回帰式が得られた。

$$E = 5.17 \times f_c^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$E = 9.26 \times f_c^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

回帰式から得られた静弾性係数の推定値と実験値の関係を図-2に示す。 $b=1/2, 1/3$ のとき相関係数はそれぞれ0.831, 0.837となり、どちらも高い相関性を示した。ただし、 $b=1/2$ では、静弾性係数の推定値が 30 N/mm^2 程度以下で実験値よりも小さく、 30 N/mm^2 程度以上で実験値よりも大きくなるという偏りが確認できた、 $b=1/3$ では、このような圧縮強度による偏りは見られない。これより、高炉スラグ置換率60%のAAMコンクリートでは、普通コンクリートとは異なり、低強度の範囲でも静弾性係数は圧縮強度の3乗根に比例する回帰式を用いる方が適切であることが示唆された。

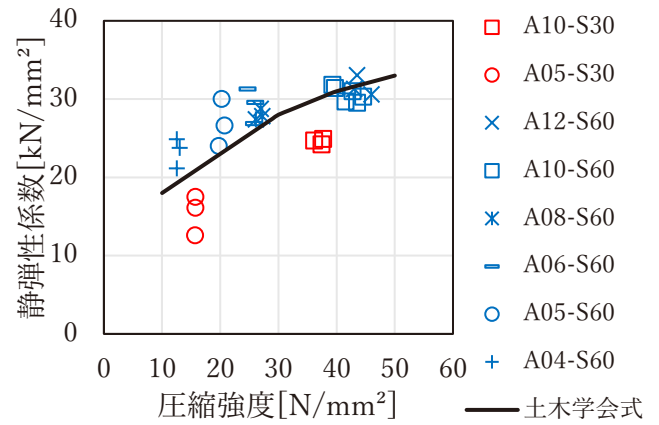


図-1 圧縮強度と静弾性係数の関係

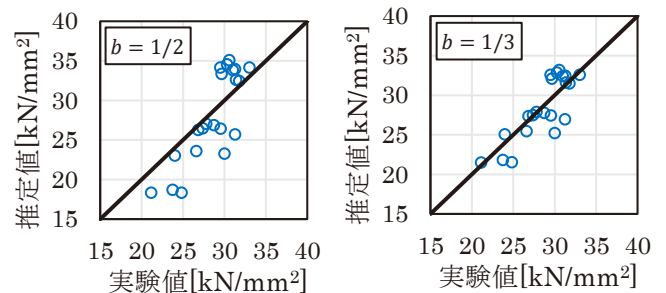


図-2 静弾性係数の推定値と実験値の関係
(高炉スラグ置換率 60%)

4. まとめと今後の課題

- 1) 高炉スラグ置換率およびアルカリ水比に相関して圧縮強度が増加し、それに伴い静弾性係数も増大することが確認された。特に、本コンクリートの静弾性係数には、高炉スラグ置換率の影響が顕著であることが示唆された。
- 2) 本研究の限りでは、高炉スラグ置換率60%の場合のAAMコンクリートの静弾性係数は、圧縮強度の平方根よりも3乗根に比例する回帰式が適切であると推察される。
- 3) 本実験では、高炉スラグ置換率60%、圧縮強度が $12 \sim 46 \text{ N/mm}^2$ 程度の範囲のみでの検討を行ったため、今後は高炉スラグ置換率を変化させ、高い圧縮強度の範囲まで含めて、静弾性係数と圧縮強度の関係を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書【設計編】。P.43, 2017
- 2) 日本建築学会：コンクリートの調合設計・施工指針・同解説。p.35, 1994