

スラグ系細骨材を用いたコンクリートの収縮ひび割れ抑制効果に関する基礎的研究 (その4:実大壁実験)

正会員 ○原品 武* 正会員 今本啓一*
 同 清原千鶴* 同 山崎順二**
 同 安田慎吾*** 同 前田朗****

非鉄スラグ細骨材 高炉スラグ細骨材 実大壁
 圧縮クリープ 乾燥収縮ひび割れ 応力解析

1. はじめに

本報(その 4)では、非鉄スラグおよび高炉スラグ細骨材を収縮低減材として適用し、梁部材で拘束されたスラグ系細骨材の混合率 50%の実大壁供試体を作製し、収縮低減効果および乾燥収縮ひび割れ抑制効果を明らかにした。さらに、得られた実験結果を基に収縮応力の算出を試みた。

2. 実験概要

使用したスラグ系細骨材およびコンクリートの調合(表-1)は前報(その 3)と同様である。梁および柱部材においては、30-18-20N のレディーミクストコンクリートを使用した。なお、スラグ系細骨材の混合率は 50%である。

実大壁試験体の形状を図-1 および梁および壁部のダミー試験体の形状を図-2 に示す。実大壁試験体の壁中心部、上下梁中心部および梁、壁部のダミー試験体にそれぞれ埋め込みゲージを設置している。コンクリートの打込みについては、壁部打設の 1 週間前に下梁および柱部を先行して打設し、その後、壁部および上梁の順に行った。脱型は壁部打設から 7 日後(下梁打設からは 14 日後)に行い、降雨の影響を避けるために雨かかりのない屋外と同一の温度環境下において測定を行った。

3. 結果および考察

3.1 ひび割れ発生状況

ダミー部材の収縮ひずみの経時変化を図-3 に示す。前報の室内実験(その 3)の 100×100×400mm 試験体と同様に、脱型時を原点としている。室内実験と同様に、壁ダミー試験体においてもスラグ系細骨材を使用したコンクリートは CS を用いたダミー試験体に比べて収縮が低減することが確認できた。

図-4 に実大壁におけるひずみの測定結果を示す。CS を用いた実大壁試験体においては、乾燥期間 39 日において目視にてひび割れ発生が確認できた。スラグ系細骨材を用いた実大壁試験体においては乾燥期間 350 日以上経過した現在においてもひび割れは確認できていない。各壁試験体のひずみ変化に着目すると壁ダミー試験体>実大壁ひずみ、実大壁梁ひずみ>梁ダミー試験体となっている。これは、実大壁部材は上下梁の拘束を受け、梁部材は壁の収縮によって圧縮力が生じ、収縮ひずみが大きくなっているためと考えられる。下梁部材は上梁部材よりも先行して打設しており、剛性が大きく自由収縮ひずみも小さいためひずみは小さくなっている。

表-1 コンクリートの調合および使用材料

部位	記号	W/C (%)	細骨材の種類		混合率 (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
			S ₁	S ₂			W	C	S ₁	S ₂	G ₁	G ₂	G ₃
壁	CS0	50	CS1	—	0	46.9	180	360	826	0	374	564	—
	FNS50			FNS	50	46.9	180	360	413	473	374	564	—
	CUS50			CUS	50	47.5	180	360	413	546	374	564	—
	BFS50			BFS	50	41.5	180	360	413	426	374	564	—
梁・柱	CS2	CS3	—	—	47.4	180	360	485	337	—	—	912	

CG2: 碎石 (表乾密度 2.70g/cm³ 吸水率 0.59%)
 CG3: 碎石 (表乾密度 2.61g/cm³ 吸水率 0.67%)

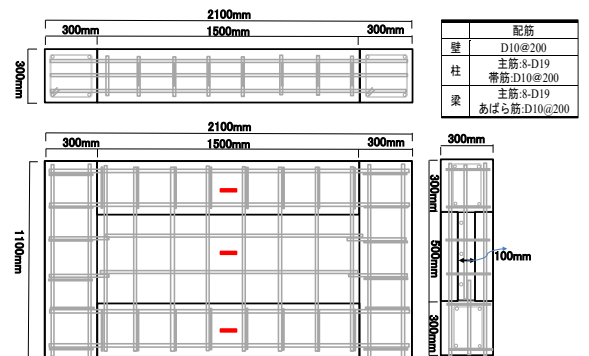


図-1 実大壁試験体



図-2 ダミー試験体(左:梁, 右:壁)

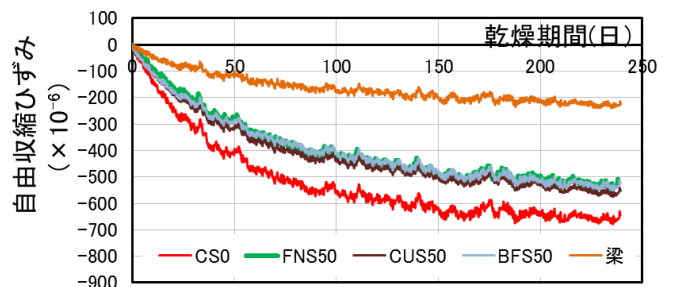


図-3 ダミー供験体のひずみ変化

3.2 応力解析

実大壁試験体に生じる応力挙動を解析的に追従する。解析には有効ヤング係数法¹⁾を用いた。自由収縮ひずみについては、図-3 に示すダミー試験体の自由ひずみを用い、ヤング係数およびクリープ係数については、φ100×200mm の円柱試験体を用いた既往の実験結果を基に近似式を得た。

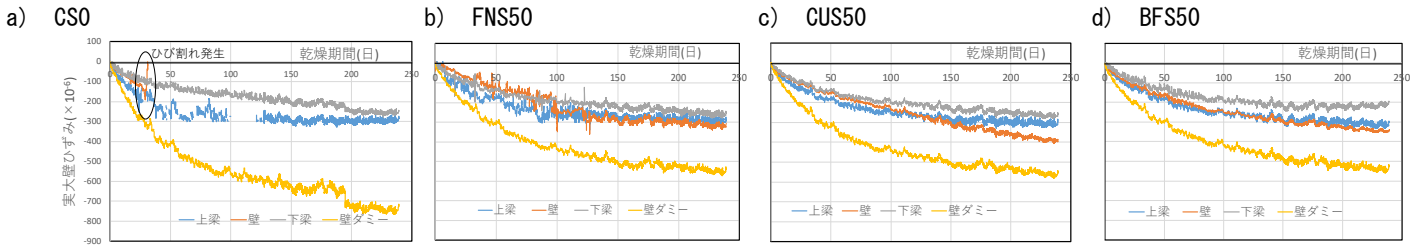


図-4 実大壁における測定結果

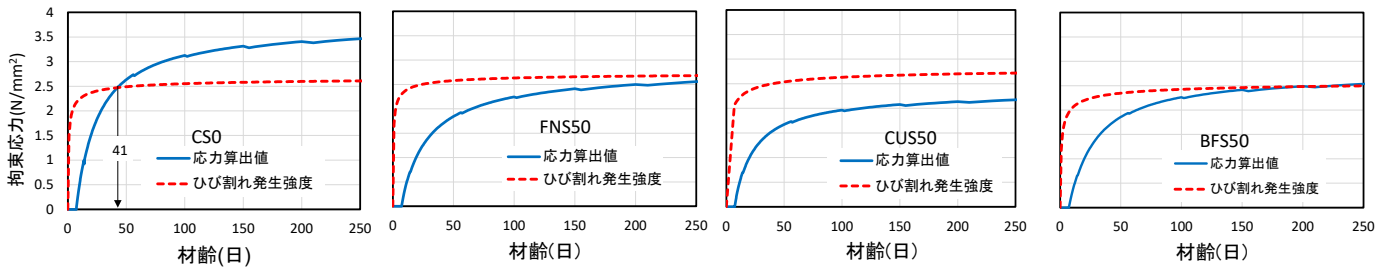


図-5 拘束応力の算出結果

$$\sigma(t_i) = \sum_{j=1}^i \left(\frac{E(t_i)}{1 + \Phi(t_i, t_j)} \right) \cdot \lambda(t_j) \{ 2\Delta \varepsilon_f(t_j) - \Delta \varepsilon'_f(t_j) - \Delta \varepsilon''_f(t_j) \} \quad (1)$$

$$\lambda(t_j) = \frac{2S'(t_j, t_i) \cdot S''(t_{j+d}, t_{i+d})}{S(t_j, t_i) \{ S'(t_j, t_i) + S''(t_{j+d}, t_{i+d}) \} + 4S'(t_j, t_i) \cdot S''(t_{j+d}, t_{i+d})}$$

ここに、

$\sigma(t_i)$: 材齢 t_i における収縮拘束応力の予測値(N/mm²)

$E(t_i)$: 材齢 t_i におけるヤング係数(N/mm²)

$\Phi(t_i, t_j)$: 材齢 t_j で除荷した材齢 t_i におけるクリープ係数

$\Delta \varepsilon_f(t_i)$: 材齢 t_i における壁部材の増分自由ひずみ

$\Delta \varepsilon'_f(t_i), \Delta \varepsilon''_f(t_i)$: 材齢 t_i における上下梁の増分自由ひずみ

$S(t_i, t_j) = A \cdot Ee(t_i, t_j)$: 壁部材の断面剛性(N/mm)

$S'(t_i, t_j), S''(t_i, t_j)$: 上下梁部材の断面剛性(N/mm)

なお、下梁の自由収縮ひずみは、日本建築学会の予測式¹⁾における乾燥開始材齢の影響係数を基に、上梁と同時に打設し測定した梁ダミー試験体の結果に 0.946 を乗じた値を用いた。

図-5 に応力算出結果を示す。図中に示す点線は既報²⁾によって得られた割裂引張強度に 0.75 乗じた値をひび割れ発生強度として示している。これによると、CS を用いた実大壁試験体は応力発現性が低く、CS および BFS を用いた実大壁試験体の拘束応力はそれぞれ材齢 41 日、200 日においてひび割れ発生強度を超える結果となった。CS を用いた実大壁試験体においては図-4 に示すように乾燥期間 39 日(材齢 46 日)においてひび割れが目視にて確認できていることから応力算出結果はほぼ実験現象を現しているものと思われる。一方、BFS を用いた実大壁試験体においては、ひび割れは確認されていない。これは、既往の研究²⁾に示すクリープ係数が最も小さいため拘束応力が大きく算出されたものと考えられる。FNS および CUS を用いた実大壁試験体においては、図-3 に示すようにス

ラグ系細骨材を用いたコンクリートの収縮ひずみ抑制効果が CS を用いた実大壁試験体に比べて卓越していることが収縮応力が小さく算出された一因であると考えられる。

乾燥期間 250 日におけるスラグ系細骨材を用いた実大壁の収縮応力強度比は、FNS:0.78, CUS:0.62, BFS:0.78, また、既往の研究³⁾からもひび割れ発生材齢が長くなるほど収縮応力強度比も高くなることが示されていることから、スラグ系細骨材を用いた実大壁試験体においてはひび割れが発生する確率は低いことが考えられる。

4. まとめ

実大壁試験体においてスラグ系骨材を用いたコンクリートは普通骨材(CS)を用いたコンクリートに比べてひび割れ抑制効果が高いことが確認でき、これを解析で再現できた。

【謝辞】

本研究の実施においては、大阪広域生コンクリート共同組合:安田慎吾氏, 株式会社関西宇部 生コン工場の皆様, (株)浅沼組 建築部の皆様および鉄鋼スラグ協会ならびに日鉄住金高炉セメント株式会社の協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・解説, (2006)
- 2)安田慎吾, 今本啓一, 原品武, 清原千鶴, 山崎順二, 前田朗:スラグ系細骨材を用いたコンクリートの収縮ひび割れ抑制効果に関する基礎的研究(その 1:実験概要および圧縮強度), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.381-382, (2019)
- 3)大野俊夫, 魚本健人:コンクリートの収縮ひび割れ発生予測に関する基礎的研究, 土木学会論文集 No.662, V-49 ,pp.29-44, 2000.11

*東京理科大学

**浅沼組

***大阪広域生コンクリート共同組合

****大阪兵庫生コンクリート工業組合

*Tokyo University of Science

**ASANUMA Corporation

*** Osaka wide area Ready-Mix Concrete Cooperative

**** Osaka-Hyogo Ready Mixed Concrete Industrial Association