

CFT 充填コンクリートを対象とした実大施工実験 -CFT 充填コンクリートの強度補正值の確認-

足立 啓輔* 高橋 祐一*
細井 泰行* 竹内 博幸*

要 旨

CFT 充填コンクリートはダイアフラム近傍での強度低下を考慮した補正值 S_c を導入して調合を決定する。過去の実験結果をまとめた文献では、実験結果から求めた補正值 S_c は CFT 基準に示される標準値と同程度あるいは標準値を下回る傾向が示されている。したがって実験にて確認することで、より適切な値として補正值を設定可能であることが考えられる。また近年、セメント量を増加させずにワーカビリティを確保できる増粘剤一液タイプの高性能 AE 減水剤の利用が進んでいる。しかし、CFT 充填コンクリートに適用した例は少なく、充填性や実強度へ及ぼす影響については不明な点が多い。

本検討では、水セメント比をパラメータとして CFT 柱の実大施工実験を行い、強度の発現状況および補正值 S_c を確認し、既往研究に示される値を下回ることを確認した。また、水セメント比 40%前後と比較的水セメントが大きなケースには増粘剤一液タイプの高性能 AE 減水剤を適用し、確実に充填できること、また、所要の強度が確保できることを確認した。

1. はじめに

CFT 充填コンクリートはダイアフラム近傍で強度の低下が生じることが知られている。CFT 技術基準・同解説¹⁾(以下 CFT 基準)においては、ダイアフラム近傍での強度の低下を考慮した補正值 S_c を導入しており、調合を決定する際には標準値(10~15N/mm²)あるいは実験や信頼のおける資料のいずれかに基づいて補正值を設定することが推奨されている。過去の実験データを整理した文献²⁾では、補正值 S_c は CFT 基準に示される標準値と同程度、または標準値を下回る傾向が示されており、補正值 S_c を実験で確認することで、適切な値を設定できると考えられる。

CFT 充填コンクリートはワーカビリティおよび材料の分離抵抗性の確保という観点から、一定のセメント量が要求されるケースが多い。倉庫をはじめとした中層建築物においては、高強度コンクリートは構造的に必要とされず、上述の施工性の観点から調合が決定されるため、構造体として必要な強度より大きな調合強度が設定されるケースがある。一方で、近年、セメント量を増加させずにワーカビリティや材料の分離抵抗性を確保できる増粘剤一液タイプ

の高性能 AE 減水剤の利用が進んでいる。JIS A 5308:2019 では呼び強度 27 以上のコンクリートにスランブフローの設定が新たに追加され、今後、より低強度域で CFT 充填コンクリートの利用が進むと考えられる。ただし、これまでに行われた、CFT 充填コンクリートを対象とした実験の多くは水結合材比が 40%以下³⁾と高強度域を対象としたものである。また、通常の高性能 AE 減水剤(SP)に比べ、増粘剤一液タイプの高性能 AE 減水剤(VSP)を利用した例は少なく、充填性や強度へ及ぼす影響については不明な点が多い。

そこで本実験では、水セメント比をパラメータとして CFT 充填コンクリートを使用した実大施工実験を実施し、補正值 S_c を確認した。また、水セメント比の大きいケース(W/C=47.8%)には増粘剤一液タイプの高性能 AE 減水剤を適用し、充填性および強度への影響を確認した。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

表-1に試験体一覧を示す。調合は水セメント比を 25.5~47.8%

表-1 試験体一覧

模擬柱 試験体 No.	試験体名称	ダイアフラム 有無	調合 No.	セメント 種類	呼び強度	W/C (%)	スランブフロー 目標値 (cm)	混和剤
No.1	43N-NDF-SP	なし	2	普通(N)	48	42.8	55	SP
No.2	48N-DF-VSP	2枚 600mm 間隔 開口率 15%	1		42	47.8		VSP
No.3	43N-DF-SP		2		48	42.8		60
No.4	42M-DF-SP		3	48	42.2			
No.5	33M-DF-SP		4	63	32.9			
No.6	26M-DF-SP		5	83	25.5	65		

* 技術研究所 建築技術開発部

(呼び強度 42~83) とした計 5 水準とし、試験体は No.1~No.6 の計 6 ケースとした。ダイヤフラムの有無による強度や施工への影響を確認するため、No.1 はダイヤフラム無しのケースとし、コンクリートは No.3 と同調合の試験体としている。試験体名称は水セメント比、セメント種類、ダイヤフラム有無、混和剤種類の順で表示している。

図-1 に CFT 柱の形状およびコア採取位置を示す。柱鋼管の断面は 600×600×16 とし、1 層を想定して全長 4,750mm とした。ダイヤフラムは 2 枚設け、コア抜きが容易なようにダイヤフラム部分で分割可能な機構としている。コアの採取位置は、平面図に対して 3 箇所(1 箇所につき 11 本)採取し、試験体 1 体につき計 33 本とした。コアのサイズは φ100×200mm とした。

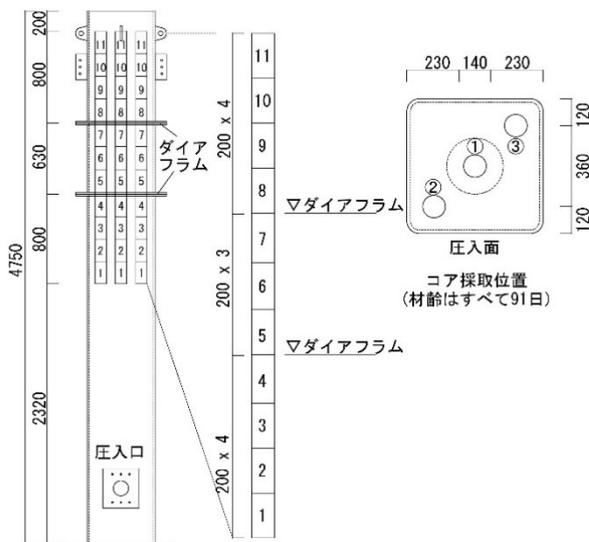


図-1 CFT 柱の形状およびコア採取位置

2.2 充填コンクリートの使用材料と調合および各種目標性能

表-2 にコンクリート使用材料を、表-3 に調合計画一覧を示す。水セメント比の大きいケース(調合 1、試験体 No.2)については増粘剤 1 液タイプの高性能 AE 減水剤を使用し、それ以外のケースについては通常の高性能 AE 減水剤を使用した。混和剤は荷卸し時のフレッシュ性状を確認して、その状態によって適宜後添加した。セメント種類は呼び強度 48 を境に低強度側(呼び強度 42、48)を普通ポルトランドセメント、高強度側(呼び強度 48、63、83)を中庸熟ポルトランドセメントとした。

コンクリートの目標性能は CFT 基準に準じて決定し、事前の試し練りで練上がり後 120 分まで各目標性能を満足することを確認した。また、沈降量は 2.0mm 以下、ブリーディング量は 0.1cm³/cm² 以下とした。

2.3 充填時の管理項目および試験・計測項目

充填にはピストン式のコンクリートポンプ車を用いた。充填速度は CFT 基準に準拠して 1m/min 以下を満足しながら打込むものとし、打込み中の充填高さをレーザー変位計で常時計測して管理した。また、柱内部にカメラを挿入し、常時充填状況を確認しながら施工した。(写真-1)

表-2 使用材料

材料	記号	種類	産地 または 品名
セメント	C	普通ポルトランドセメント 中庸熟ポルトランドセメント	—
細骨材	S1	山砂	千葉県富津市
	S2	砕砂	東京都八王子市
	S3	砕砂	東京都八王子市
粗骨材	G1	砕石 2010	東京都八王子市
	G2	砕石 1505	東京都八王子市
混和剤	VSP	高性能 AE 減水剤 (増粘剤一液タイプ)	ポリカルボン酸系
	SP	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系

表-3 調合計画一覧

調合 No.	セメント種類	W/C (%)	呼び強度	スランプフロー管理値 (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)							
						W	C	S1	S2	S3	G1	G2	混和剤 (SP/VSP)
1	N	47.8	42	55±10	3.0±1.5	175	367	140	542	252	431	431	適宜
2		42.8	48			170	398	137	530	246	435	435	
3	M	42.2	48	60±10		170	403	138	534	249	431	431	
4		32.9	63			170	517	124	480	224	431	431	
5		25.5	83			65±10	170	667	107	414	192	427	

表-4に試験・計測項目一覧を示す。フレッシュコンクリート試験は工場練上がり時、現場受入れ時、充填施工終了後に柱頭部で採取した3種類について実施した。圧縮強度試験は標準養生供試体および充填したコンクリートのコア供試体について実施した。試験材齢について、標準養生供試体が7、28、56、91日、コア供試体が91日で試験を実施している。

3. 実験結果

3.1 フレッシュコンクリート試験結果

表-5に受入れ時のフレッシュコンクリート試験結果を示す。スランブフロー値、空気量は管理値を満足する結果となった。No.1 およびVSPを使用して大きな水セメント比としたNo.2はその他のケースよりもフロー停止時間が短く、スランブフロー値も若干小さい結果であった。No.1 については、受入れ時のフレッシュ性状を確認し、混和剤を後添加してから充填した。

図-2にスランブフロー経時変化を示す。出荷時、受入れ時のスランブフローはすべてのケースで管理値を満足した。柱頭で採取したコンクリートのスランブフローは受け入れ時よりも大きくなる傾向であった。柱頭で採取したコンクリートは見掛け密度が小さく(後述表-6参照)、試料を観察したところ骨材が少ない傾向がみられたことから、柱頭部での骨材の減少がスランブフロー増大の一因であると考えられる。

図-3に受入れ試料の沈降量計測結果を示す。沈降量は全ケースで目標値である2.0mmを下回った。

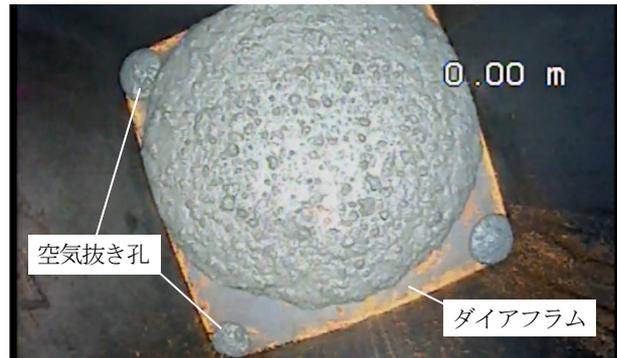


写真-1 柱内部充填状況確認 (上ダイアフラム通過時)

表-4 試験・計測項目一覧

分類	試験・計測項目	試験・計測方法
フレッシュ コンクリート	スランブフロー	JIS A 1150
	50cm フロー時間	
	フロー停止時間	
	空気量	JIS A 1128
	沈降量試験	JASS 5T-503
充填施工時	ブリーディング試験	JIS A 1123
	充填高さ	レーザー変位計
充填施工後	内部充填状況	カメラ
硬化 コンクリート	柱頭沈降量	レーザー変位計
	圧縮強度試験 (標準養生、コア供試体)	JIS A 1107 JIS A 1108

表-5 受入れ時のフレッシュコンクリート試験結果

試験体 No.	試験体名称	経時 (分)	フロータイム(秒)		スランブフロー(cm)		空気量(%)		
			50cm	停止	管理値	計測値	管理値	計測値	
No.1	43N-NDF-SP	50	—	20.4	55±10	51.0	3.0±1.5	3.1	
No.2	48N-DF-VSP	65	—	15.0					47.5
No.3	43N-DF-SP	60	5.2	26.3					59.0
No.4	42M-DF-SP	63	2.7	24.9	60±10	64.5			2.0
No.5	33M-DF-SP	63	3.9	27.7		64.5			2.5
No.6	26M-DF-SP	69	5.9	45.0	65±10	69.0			1.9

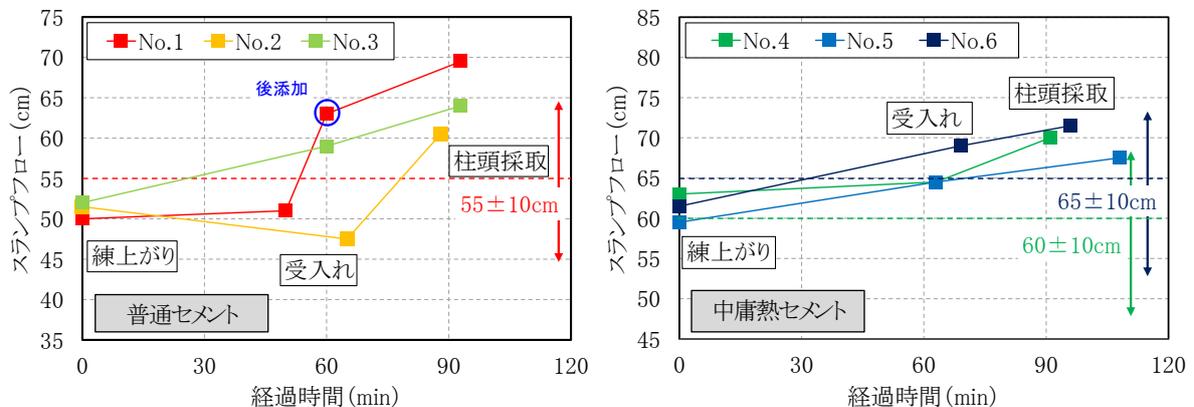


図-2 スランブフロー経時変化

図-4にブリーディング試験結果を示す。ブリーディング量についても全ケースで目標値である $0.1\text{cm}^3/\text{cm}^2$ を大きく下回り、 $0.02\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 未満と非常に小さかったことから、充填コンクリートは充填性を確保できているものと考えられる。

3.2 施工時計測結果

図-5に充填速度計測結果を示す。全ケースで基準である $1\text{m}/\text{min}$ を下回って充填することができた。また、カメラにより柱内部の充填状況を観察したところ、打設終了時までコンクリートが流動性を保ちながら、材料分離を生じずに均一に充填施工ができることを確認した。また、VSP を使用し水セメントの小さな No.2 についても上記と同様の傾向であり、十分な充填性を確保できたといえる。

3.3 柱頭での沈降量計測結果

図-6に柱頭部での沈降量計測結果を示す。No.1、No.2およびNo.4 は 2.0mm を超え、 $2.5\sim 4.0\text{mm}$ 程度の結果となった。ただし、過去に実施されたCFT 施工実験の実大柱の沈降量計測結果³⁾で本実験と同規模のもの(試験体高さ約 5m)は、沈降量が $2\text{mm}\sim 6\text{mm}$ 程度であり、いずれの実験でも大きな空隙を生じなかった報告がされている。したがって本実験の沈降量は充填性を損なうものではなかったと考えられる。

3.4 標準養生供試体およびコア供試体の圧縮試験結果

表-6に標準養生供試体の圧縮試験結果を示す。全ケースの圧縮強度は材齢 28 日で呼び強度を超える結果となった。また、材齢 91 日で呼び強度よりも $30\sim 40\text{N}/\text{mm}^2$ 程度大きい結果となった。

図-7にコア供試体強度の分布図を示す。図中の平均値は採取位置に関係なく、全コアの平均値としている。また、コア採取時に破損したものおよびグラブス・スミルノフ検定の両側 5%を外れるものは除外して結果を整理している。ダイアフラム近傍の強度に関して、No.4~6 中央部採取①のコアは平均値よりも低い傾向がみられた。ただし、同じくダイアフラム近傍で、外周側で採取したコア②、③は平均値程度あるいはそれ以上の強度となった。コア強度の変

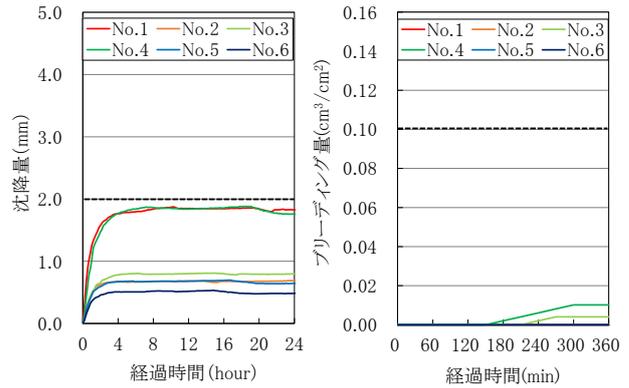


図-3 沈降量計測結果

図-4 ブリーディング試験結果

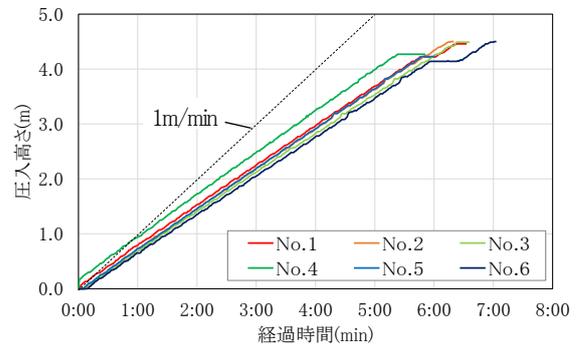


図-5 充填速度計測結果

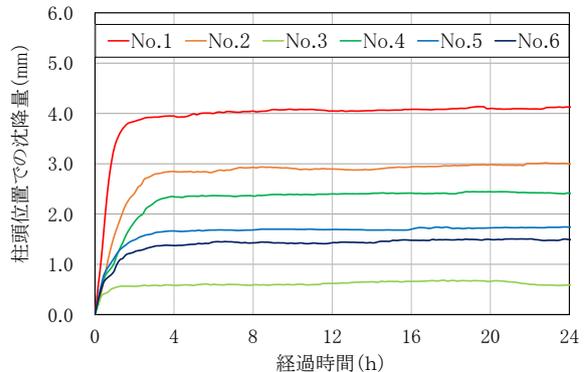


図-6 柱頭での沈降量計測結果

表-6 標準養生供試体の試験結果

No.	試験体名称	呼び強度	標準養生供試体					見掛け密度 (g/cm^3)
			圧縮強度 (N/mm^2)				材齢 28日	
			材齢					
			7日	28日	56日	91日		
No.1	43N-NDF-SP	48	56.8	70.3	72.5	75.4	2.40	
No.2	48N-DF-VSP	42	49.8	61.6	64.5	67.6	2.40	
No.3	43N-DF-SP	48	57.4	71.0	74.2	77.9	2.41	
No.4	42M-DF-SP	48	41.7	68.5	80.4	87.9	2.42	
No.5	33M-DF-SP	63	63.4	92.8	102.7	108.7	2.43	
No.6	26M-DF-SP	83	87.4	110.7	122.0	128.7	2.46	

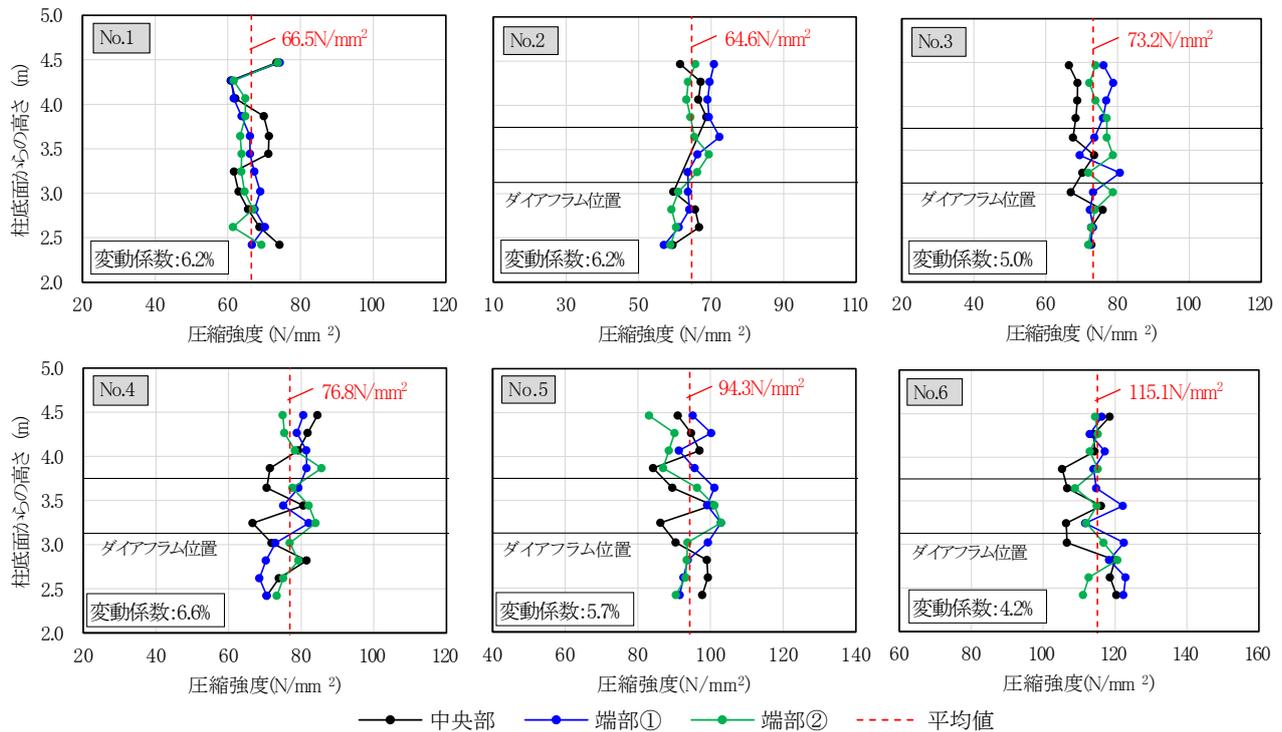


図-7 コア供試体強度の分布図

動係数はダイアフラム無しの No.1 が 6.2%で、ダイアフラムを設けた No.2～No.6 の変動係数が 4.2～6.6%とほぼ同程度であった。したがってダイアフラムの有無がコンクリート強度に及ぼす影響は小さいものであったといえる。

VSPを使用したケース (No.2) の標準養生供試体およびコア供試体強度の結果は他ケースとほぼ同様の傾向を示しており、VSP を使用し水セメント比を大きくしたケースについても良好な強度発現性状を示すことを確認した。

4 CFT コンクリート強度補正値の検討

CFT 基準において、CFT 充填コンクリートに用いられる強度補正値は以下のように定められている。

$$F = F_c + S_c$$

$$S_c = mS_n + S_d$$

F: 調合強度 (N/mm²)

F_c: 設計基準強度 (N/mm²)

S_c: CFT におけるコンクリート強度の補正值 (N/mm²)

mS_n: 構造体強度補正值 (N/mm²)

S_d: ダイアフラム近傍の強度の変動を考慮した補正值 (N/mm²)

既往の研究²⁾においては上式の定義に従いながら、S_c、₂₈S₉₁および

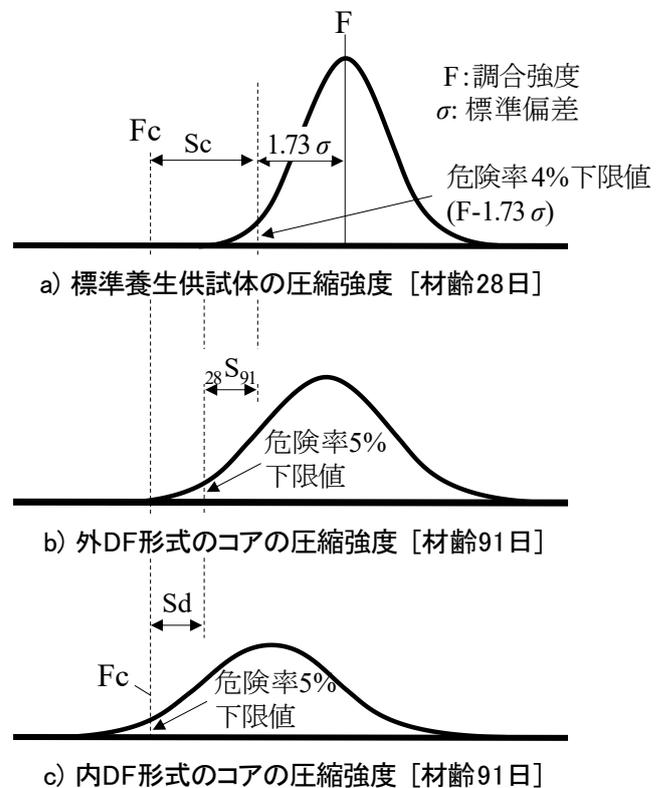


図-8 CFT 充填コンクリートの補正値の概念図

びSdを、標準養生供試体の強度分布における危険率4%下限値、外ダイアフラム形式(外 DF 形式)のコア供試体の強度分布における危険率5%下限値、および内ダイアフラム形式(内 DF 形式)のコア供試体の強度分布における危険率5%下限値の関係として算出している(図-8)。また、同研究ではこの補正值の定義に基づき、文献調査の結果から設計基準強度 Fc に応じた補正值 Sc = (1-0.825)×Fc という式を提案している。

そこで比較のため、本実験結果について、既往研究と同様に受入れ時の標準養生供試体およびコア供試体の強度の関係から各補正值および設計基準強度を算出した。算出の際にはダイアフラムの上下 200mm にかかるコアを内ダイアフラム形式のコア供試体を含め、それ以外のコアを外ダイアフラム形式のコア供試体として整理した。補正值の算出結果が負値をとる場合は負値のまま表示している。表-7に設計基準強度および補正值の算出結果を図-9に補正值 Sc の算出結果と算定式との比較を示す。今回の実験結果は Sd が-0.5~4.1 と小さな値であった。また、補正值 $_{28}S_{91}$ および Sc は負値となった。本実験における補正值 Sc は CFT 基準に示されている標準値(10~15N/mm²)を十分に下回り、既往研究に示される Sc = (1-0.825)×Fc を下回る結果であった。

5. まとめ

本実験の結果から以下の知見を得た。

- (1) 本実験における CFT 充填コンクリートの強度補正值 Sc は CFT 基準の標準値(10~15N/mm²)を十分に下回る結果であり、既往研究に示されている Sc = (1-0.825)×Fc で安全側に評価できることを確認した。
- (2) 増粘剤一液タイプの高性能 AE 減水剤を使用し、水セメント比を大きくしたケースは十分な充填性を確保できることを確認した。
- (3) 増粘剤一液タイプの高性能 AE 減水剤を使用し、水セメント比を大きくしたケースのコンクリート強度発現は、通常の高性能 AE 減水剤を使用したケースと同様の傾向を示した。

表-7 設計基準強度及び補正值の算出結果

	算出結果(N/mm ²)			
	Fc	$_{28}S_{91}$	Sd	Sc
No.1	66.5	0.9	—	—
No.2	58.1	-4.5	-0.5	-5.0
No.3	67.3	-6.8	0.7	-6.1
No.4	68.5	-10.3	0.8	-9.5
No.5	85.5	-6.8	1.3	-5.6
No.6	107.1	-15.8	4.1	-11.8

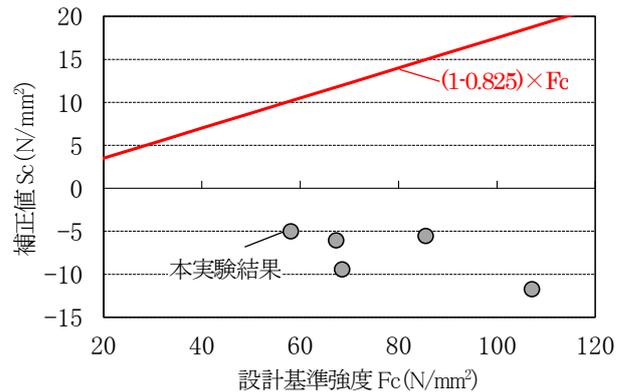


図-9 補正值 Sc の算出結果と算定式との比較

【参考文献】

- 1) (一社)新都市ハウジング協会:CFT 造技術基準・同解説の運用及び計算例等, 2019年2月
- 2) (一社)新都市ハウジング協会 CFT 造施工技術研究会:CFT 造における構造体コンクリートの強度補正值に関する調査研究, 日本建築学会技術報告集, 第17巻, 第37号, pp.797-802, 2011年10月
- 3) (一社)日本建築学会:CFT コンクリート調査設計・施工指針(案)・同解説, 2021年2月