

セメントを混入した壁土の強度算定および耐久性に関する実験的研究 EXPERIMENTAL STUDY ON A STRENGTH CALCULATION AND THE DURABILITY FOR "KABETSUCHI" ADDED CEMENT

荒木 紀人
Norito ARAKI

1 はじめに

土壁は、中国地方において、木造軸組在来工法に用いられる壁材料の一つとして、従来から利用されていた。しかしながら、土壁は、工期が長く、左官職人の技能により仕上りや耐久性などが大きく影響するため、簡易的に施工でき、かつ耐久性の高い建築材料が好まれる現在の風潮では、施工数が減少の一途をたどっている。岡山県の左官業者からの聞き取り調査では、土壁が新築物件に利用されるケースは、全新築施工数の約 1.0 %程度だともいわれている。その一方で、土壁は、防火性、断熱性、遮音性、吸放湿性に優れ、高温多湿の日本の気候風土に適しており、自然素材のみを利用し、揮発性有機化合物 (VOC) を利用していない建築材料として、見直されつつある。

本研究では、土壁の風合いを残しつつ、かつ職人の技能による差が解消でき、工期を減少することができる新しい材料として、セメントを混入した土壁に利用される土 (以後、セメントを混入した壁土と呼ぶ。)を開発するために、強度算定および耐久性の実験から、中国地方での利用性について把握することを目的とする。なお、本研究で開発しようとしているセメントを混入した壁土は、プレキャスト製品の壁土材料を目標としている。

2 強度算定に関する実験

2.1 実験概要

本実験では、まずセメントを混入した壁土の圧縮強さを確認する実験 (以後、圧縮強さ確認実験と呼ぶ。)を行い、セメント水比と圧縮強さとの関係を把握し、強さ算定式を導入した。そして、強さ算定式について圧縮強さを検証する実験 (以後、強度算定式検証実験と呼ぶ。)を行った。

2.2 調合計画

本実験では以下の材料を使用した。

(1) 土 : S

香川県産のまさ土を使用した。なお、室温 20±2°C、相対湿度 50±5 %RH における実験室内において保管し、気乾密度 2.32 g/cm³、含水率 9.10 %の状態で行った。

(2) セメント : C

セメントは、太平洋セメント株式会社製の普通ポルトランドセメント (密度 3.16 g/cm³) を使用した。

(3) 水 : W

水は、津山市上水道水を使用した。

(4) 混和材料

固形安定剤 (株式会社地球環境技術研究所製 : FC 剤) と膨張材 (太平洋セメント株式会社製)、空気連行剤 (山宗化学株式会社製 : ヴィンソル)、および高性能 AE 減水剤 (株式会社フローリック製 : SF500S) を使用した。

圧縮強さ確認実験の調合は、まず、実験計画法に基づいて表 - 1

表 - 1 因子と水準

因子	土(S)	セメント(C)	水(W)
水準	1	0.03	0.100
		0.05	
		0.07	0.125
		0.10	
		0.15	
		0.20	0.150

表 - 2 調合表

調合名	単位水量 (kg/m ³)	W/C (%)	単位容積(0/m ³)		絶対質量(kg/m ³)		混和材料		
			セメント	土	セメント	土	FC剤	膨張材	AE剤
C0-150	258	—	—	742	—	1721	—	—	—
C3-150FE	254	500%	16.1	730	50.8	1693	C×3%	C×10%	—
C5-150FE	251	300%	26.5	722	83.8	1675	C×3%	C×10%	—
C7-150FE	249	214%	36.7	715	116.1	1658	C×3%	C×10%	—
C7-125FE	216	179%	38.3	745	121.1	1730	C×3%	C×10%	—
C7-100FE	181	143%	40.0	779	126.5	1808	C×3%	C×10%	—
C10-150FE	245	150%	51.7	704	163.2	1632	C×3%	C×10%	—
C10-125FE	213	125%	53.8	733	170.2	1702	C×3%	C×10%	—
C10-100FE	178	100%	56.2	766	177.7	1777	C×3%	C×10%	—
C15-150AFE	239	100%	75.5	686	238.7	1591	C×3%	C×10%	C×0.03%
C15-150AF	239	100%	75.5	686	238.7	1591	C×3%	—	C×0.03%
C15-150A	239	100%	75.5	686	238.7	1591	—	—	C×0.03%
C15-125AFE	207	83.3%	78.7	714	248.7	1656	C×3%	C×10%	C×0.03%
C20-150AFE	233	75.0%	98.2	669	310.3	1552	C×3%	C×10%	C×0.03%
C20-125AFE	202	62.5%	102	696	322.3	1615	C×3%	C×10%	C×0.03%

表 - 3 強度算定式から求めた調合例

調合例	土(S)	セメント(C)	水(W)	W/C
I	1.00	0.07	0.055	0.781
II	1.00	0.10	0.078	0.781
III	1.00	0.15	0.117	0.781

表 - 4 調合の因子と水準

因子	土(S)	セメント(C)	水セメント比(W/C)	FC剤(F)
水準	1	0.07	73.1%	C×3%
		0.10	78.1%	C×5%
		0.15	83.1%	—

表 - 5 調合表

調合名	単位水量 (kg/m ³)	W/C (%)	単位容積(0/m ³)		混和材料		
			セメント	土	FC剤	膨張材	HAE
C10-78HAF3E	144	78.1	58.5	797	C×3%	C×10%	C×20%
C10-78HAF5E	144	78.1	58.5	797	C×5%	C×10%	C×20%
C10-73HAF3E	136	73.1	59.1	804	C×3%	C×10%	C×20%
C10-83HAF3E	152	83.1	58.0	790	C×3%	C×10%	C×20%
C15-117HAF3E	197	78.1	79.7	724	C×3%	C×10%	C×20%
C7-55HAF3E	108	78.1	43.6	849	C×3%	C×10%	C×20%

注:HAEは、高性能AE減水剤を示す。

に示す因子と水準により計画を立て、表 - 2 に示す調合により実験を行なった。次に、強度算定式検証実験の調合は、圧縮強さ確認実験で求めた強さ算定式について検証するために、表 - 3 に示す算定式から求めた調合例を参考に実験を行った。なお、強度算定式検証実験に用いた調合は、表 - 4 に示す因子と水準により計画し、表 - 5 に示す調合により実験を行なった。また、水準は、土の質量に対して混入するセメント質量および水質量の割合を示す。

2.3 養生方法

養生は、打込み直後から材齢 7 日までを型枠養生とした。材齢 7 日以降は、型枠から脱型し、気中養生とした。なお、型枠養生、気中養生共に、室温は 20±2°C とし、相対湿度は 50±5% RH とした。

2.4 実験方法

実験方法は以下の方法で行った。

(1) 曲げ強さ試験

曲げ強さ試験は、40×40×160 mm の試験体で、JIS R 5201「セメントの物理的試験方法」の三軸曲げ試験に準じて行なった。

(2) 圧縮強さ試験

圧縮強さ試験は、JIS R 5201「セメントの物理的試験方法」に準じて行なった。ただし、圧縮試験の載荷面は、52×40 mm の面積とした。また、強度算定式検証実験時のみ寸法効果の影響を把握するために JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じて、100φ×200 mm で圧縮強さ試験を行った。

(3) 引張強さ試験

引張強さ試験は、JIS A 1113「コンクリートの割裂引張強度試験方法」に準じて 100φ×200 mm で行った。なお、この試験は強度算定式検証実験時のみ行った。

(4) 静弾性係数試験

静弾性係数試験は、JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」に準じて圧縮強さ試験(100φ×200 mm)に併せて試験した。

2.5 圧縮強さ確認実験に関する実験結果および考察

曲げ強さ試験の結果および圧縮強さ試験の結果を表-6に示す。なお、調合名 C0-150、C3-150FE、C5-150FE の材齢 7 日強さについては、低強度のため測定不能であった。

曲げ強さおよび圧縮強さは、共に土に対するセメント量が 7% 以下の調合であれば、材齢 28 日以降の強度発現が認められなかった。これは、土に対するセメント量が 7% 以下では、セメント量の絶対値が小さく、かつ気中養生としたため、水和反応に必要な水およびセメントが不足していたためと考えられる。

積算温度と圧縮強さとの関係を図-1に示す。積算温度と圧縮強さとの関係は、一部の調合を除いて、840° D・D (材齢 28 日、20°C) 以後の強度発現が認められなかった。したがって、セメントを混入した壁土の強さ管理は、材齢 28 日で行うべきであろう。

圧縮強さと曲げ強さとの関係を図-2に示す。材齢にかかわらず、圧縮強さと曲げ強さとの関係は一義的な関係であった。なお曲げ強さは、圧縮強さの 1/5.40 倍であった。

セメント水比と材齢 28 日における圧縮強さとの関係を図-3に示す。両者の関係は、コンクリートと同様な関係にあった。したがって、コンクリートの調合設計と同様な方法で設計できる。

本実験で検討したセメントを混入した壁土を建築物の構造耐力上主要な部分である壁に使用する場合、構造耐力が問題となってくる。木造建築における壁の強度設計については壁量計算が用いられる。この壁量計算において、構造壁として必要な 2.0 程度の壁強度を得るためには、おおよそ 18 N/mm²が必要となる。そこで、本実験で用いた土およびセメントを使用する場合の 18 N/mm²を基準として、強度の観点からのみセメントを混入した壁土の可能性を検討する。

セメント水比と圧縮強さとの関係は、(1)式で表される。

$$F = 19.2 \times (c/w) - 6.52 \quad \dots (1)$$

ここに、F：28 日圧縮強さ(N/mm²)
c/w：セメント水比

そこで、圧縮強さ 18 N/mm²が得られるセメント水比が(2)式で表せられる。

表-6 強さ確認実験に関する実験結果

調合名	曲げ強さ (N/mm ²)	材齢			
		7日	28日	56日	91日
C0-150	曲げ	-	0.08	0.06	0.12
	圧縮	-	0.42	0.37	0.30
C3-150FE	曲げ	-	0.09	0.08	0.08
	圧縮	-	0.66	0.49	0.43
C5-150FE	曲げ	-	0.20	0.15	0.16
	圧縮	-	1.47	1.11	0.87
C7-150FE	曲げ	0.18	0.32	0.21	0.20
	圧縮	1.76	1.83	1.84	1.37
C7-125FE	曲げ	0.60	0.49	0.39	0.45
	圧縮	3.09	4.06	3.76	2.66
C7-100FE	曲げ	0.77	1.25	0.98	1.38
	圧縮	4.48	7.30	6.63	6.07
C10-150FE	曲げ	0.71	0.72	0.75	0.61
	圧縮	4.26	4.98	5.65	4.95
C10-125FE	曲げ	1.47	1.28	1.18	0.83
	圧縮	6.44	7.41	8.06	8.13
C10-100FE	曲げ	1.37	1.64	1.65	1.55
	圧縮	7.79	10.94	11.78	9.52
C15-150AFE	曲げ	1.34	2.10	1.34	1.22
	圧縮	5.60	9.30	10.22	10.32
C15-150AF	曲げ	0.91	1.18	0.57	0.88
	圧縮	4.62	7.51	7.95	8.41
C15-150A	曲げ	1.84	1.36	1.69	1.64
	圧縮	8.08	12.39	14.05	14.76
C15-125FE	曲げ	2.43	3.57	3.72	3.04
	圧縮	11.74	19.47	21.30	21.05
C20-150AFE	曲げ	3.41	4.60	4.60	4.36
	圧縮	17.00	24.28	27.41	28.29
C20-125AFE	曲げ	2.62	4.87	5.62	5.13
	圧縮	18.77	22.46	31.33	30.91

注：-は、欠測を示す。

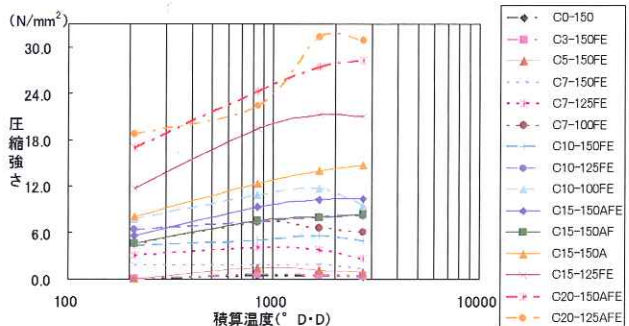


図-1 積算温度と圧縮強さとの関係

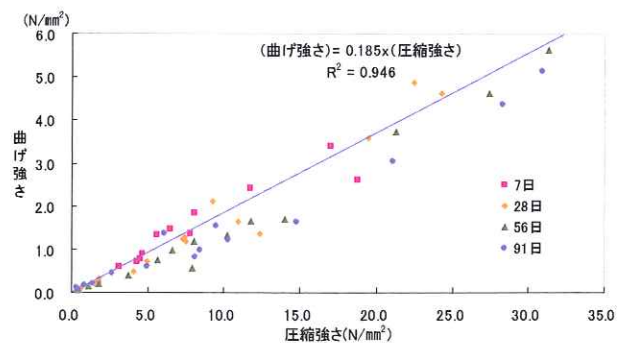


図-2 圧縮強さと曲げ強さとの関係

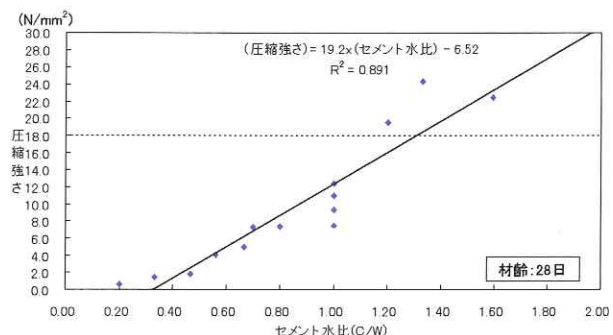


図-3 セメント水比と圧縮強さとの関係

表 - 7 強度算定式検証実験に関する実験結果

調査名	型枠	強さ (N/mm ²)	材齢		
			7日	28日	91日
C10-78HAF3E	40×40×160	曲げ	2.84	4.57	4.99
		圧縮	10.5	18.9	18.2
	100φ×200	引張	-	1.99	-
C10-78HAF5E	40×40×160	曲げ	2.98	5.61	5.31
		圧縮	10.2	22.0	20.7
	100φ×200	引張	-	1.93	-
C10-73HAF3E	40×40×160	曲げ	3.73	6.07	6.67
		圧縮	14.9	24.3	23.3
	100φ×200	引張	-	2.36	-
C10-83HAF3E	40×40×160	曲げ	2.73	6.57	6.09
		圧縮	15.6	25.6	26.4
	100φ×200	引張	-	2.47	-
C15-117HAF3E	40×40×160	曲げ	2.58	3.23	4.50
		圧縮	8.64	15.9	15.4
	100φ×200	引張	-	1.54	-
C7-55HAF3E	40×40×160	曲げ	1.62	1.48	1.80
		圧縮	6.30	11.9	12.4
	100φ×200	引張	-	0.81	-
		圧縮	-	4.76	-

注:-は、欠測を示す。

$$(c/w) = \frac{18 + 6.52}{19.2} = 1.28 \quad \dots(2)$$

したがって、圧縮強さ 18 N/mm² が得られる水セメント比は、78.1%と考えられる。

2.6 強度算定式検証実験に関する実験結果および考察

曲げ強さ試験の結果、引張強さ試験結果および圧縮強さ試験を表-7に示す。C7-55HAF3Eの曲げ強さ以外については、材齢と共に強度が増した。

試験体寸法 40×40×160 mm の材齢 28 日の各試験体に対する圧縮強さの関係を図-4に示す。強さ算定式から作製した試験体の圧縮強さは、おおむね設定値を超えるものとなった。しかし、C7-55HAF3Eについては練混ぜの時点でダマとなり、ワーカビリティが著しく悪く、強さ算定式通りの圧縮強さは出現しなかった。

寸法効果の影響として、試験体寸法 40×40×160 mm の材齢 28 日の圧縮強さに対する試験体寸法 100φ×200 mm の材齢 28 日の圧縮強さの関係を図-5に示す。調査にかかわらず、試験体寸法 40×40×160 mm と試験体寸法 100φ×200 mm との関係は一義的な関係であり、試験体寸法 100φ×200 mm は、試験体寸法 40×40×160 mm の約 1/1.55 倍であった。これは、試験後の破壊した状態から、打継ぎ面で粗になっていたため打ち込みによる影響があったと思われる。したがって、実際の壁土としてのプレキャスト製品を製作する場合は、寸法により打ち込み方法に留意する必要があるだろう。

材齢 28 日の圧縮強さに対する各材齢の圧縮強さの関係を図-6に示す。材齢 28 日に対して、材齢 7 日の圧縮強さは 0.63 倍となり、材齢 91 日の圧縮強さは 1.06 倍となっていた。したがって、積算温度と圧縮強さとの関係も踏まえて、壁土の強さ管理は、コンクリートと同様に、材齢 28 日で行うべきである。

圧縮強さに対する曲げ・引張強さとの関係を図-7に示す。材齢にかかわらず、圧縮強さと曲げ・引張強さは一義的な関係となっていた。なお、曲げ強さは圧縮強さの約 1/5.41 倍であり、引張強さは

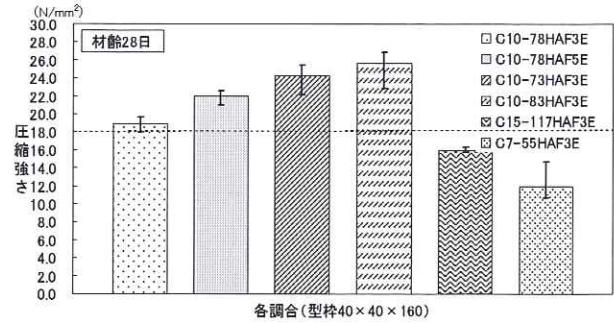


図-4 各調査に対する圧縮強さとばらつき

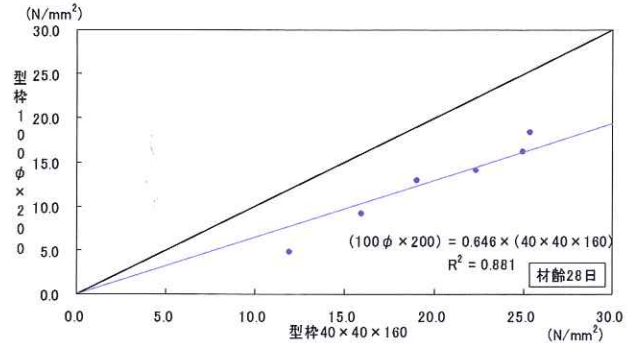


図-5 型枠 40×40×160 と型枠 100φ×200

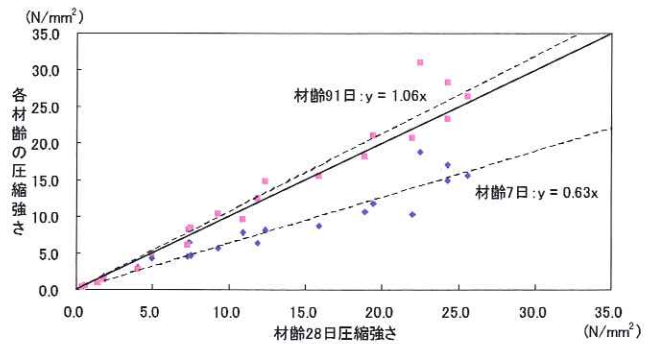


図-6 材齢 28 日と各材齢の圧縮強さの関係

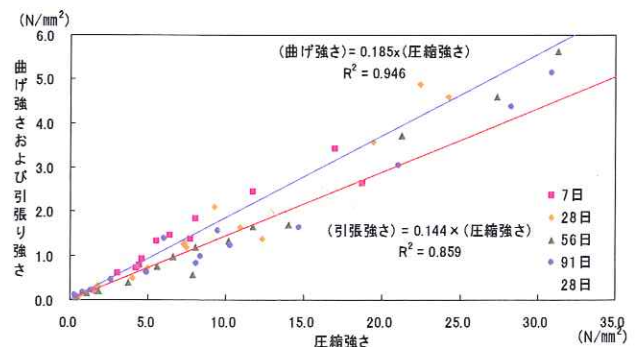


図-7 圧縮強さに対する曲げ・引張強さ

圧縮強さの約 1/6.94 倍であった。

圧縮強さと静弾性係数との関係を図-8に示す。コンクリートの学会基準式¹⁾より下回っているものの、圧縮強さと静弾性係数には、相関があることが分かった。

3 耐久性に関する実験

3.1 実験概要

本実験では、乾燥収縮に関する実験を行った。

また、中国地方の山間部においては、冬期の最低気温が氷点下になることから、凍害劣化に対する耐久性を把握するため、凍結融解作用に関する実験も行った。

3.2 調合計画

使用材料は、「2.2 調合計画」と同様の材料を使用した。

調合計画において、乾燥収縮に関しては圧縮強さ確認実験と同様の、表-2に示す調合で行い、凍結融解作用に関しては、強度算定式検証実験と同様の、表-5に示す調合で実験を行った。

3.3 養生方法

養生方法は、「2.3 養生方法」と同様に行った。

3.4 実験方法

乾燥による質量減少率を求めるために、試験体の質量変化測定を行った。測定は、材齢1日、2日、3日、5日、7日、8日、9日、10日、12日、14日、17日、21日、24日、28日、31日、35日、38日、42日、45日、49日、52日、56日、63日、70日、77日、84日、91日に行った。なお、打込み直後から材齢7日までは型枠養生のまま測定し、質量減少率は、(3)式により算出した

$$\Delta M = \frac{m_0 - m_x}{m_0} \times 100 \quad \Lambda (3)$$

ここに、 ΔM ：質量変化率 (%)

m_0 ：打込み直後の質量

m_x ：材齢 x 日の質量

$$\Delta L = \frac{l_7 - l_x}{l_7} \times 100 \quad \Lambda (4)$$

ここに、 ΔL ：長さ変化率 (%)

l_7 ：脱型(材齢7日)直後の長さ

l_x ：材齢 x 日の長さ

凍結融解試験は、JIS A 1148 準じて、凍結温度 -18.0°C 、融解温度 $+5.0^\circ\text{C}$ とし、凍結時間 24 時間、融解時間 24 時間として行った。なお、凍結時および融解時の水分状態については、水中凍結水中融解(A法)と気中凍結気中融解(C法)、および半水中凍結半水中融解の3条件とした。

3.5 乾燥収縮に関する実験結果および考察

質量減少率および、長さ変化率の測定結果をモデル化したものを図-9に示す。質量減少率は、減少率の変化推移から、初期安定期、質量減少促進期、質量減少安定期に分けられることが分かった。また、減少率の推移から長さ変化率は、初期安定期、長さ変化促進期、長さ変化期、長さ変化安定期に分けられることが分かった。これらの期間についての試験材齢を、質量減少率について表-8に、長さ変化率について表-9に示す。

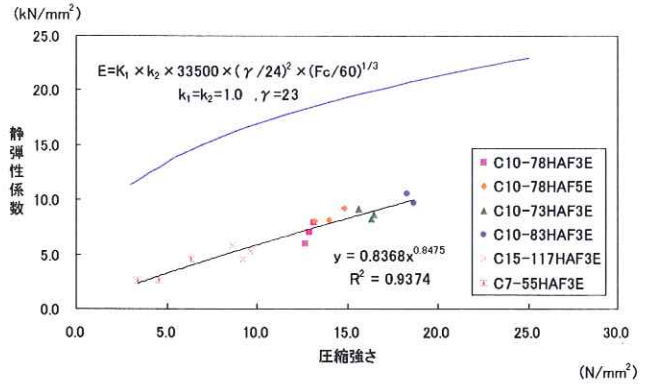


図-8 圧縮強さと静弾性係数との関係

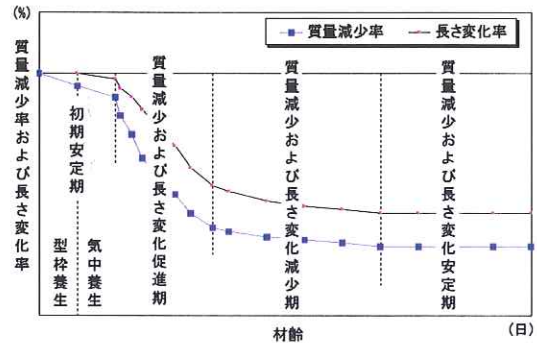


図-9 質量減少率および長さ変化率のモデル図

表-8 質量減少の期間および91日質量減少率

調合名	初期安定期	質量減少促進期	質量減少期	質量減少安定期	91日質量減少率(%)
C0-150	-	0~5日	5~10日	10~91日	19.5
C3-150FE	-	0~2日	2~17日	17~91日	16.7
C5-150FE	-	0~2日	2~17日	17~91日	17.6
C7-150FE	-	0~3日	3~14日	14~91日	16.1
C7-125FE	0~7日	7~9日	9~31日	31~91日	12.8
C7-100FE	0~7日	7~9日	9~31日	31~91日	10.3
C10-150FE	-	0~3日	3~21日	21~91日	14.7
C10-125FE	0~7日	7~9日	9~28日	28~90日	12.0
C10-100FE	0~7日	7~9日	9~28日	28~90日	10.3
C15-150AFE	0~7日	7~9日	9~42日	42~91日	13.4
C15-150AF	0~7日	7~9日	9~42日	42~91日	12.5
C15-150A	0~7日	7~9日	9~42日	42~91日	11.7
C15-125AFE	0~7日	7~9日	9~34日	34~91日	9.86
C20-150AFE	0~7日	7~9日	9~34日	34~91日	9.56
C20-125AFE	0~7日	7~9日	9~34日	34~91日	8.26

注:-は時期が表れないものを示す。

表-9 長さ変化率の期間および91日長さ変化率

調合名	初期安定期	長さ減少促進期	長さ減少期	長さ減少安定期	91日長さ変化率(%)
C0-150	-	7~10日	10~21日	21~91日	-0.715
C3-150FE	-	7~12日	12~25日	25~91日	-0.281
C5-150FE	-	7~14日	14~28日	28~91日	-0.335
C7-150FE	-	7~9日	9~31日	31~91日	-0.300
C7-125FE	7~9日	9~13日	13~17日	17~91日	-0.222
C7-100FE	7~9日	9~13日	13~17日	17~91日	-0.221
C10-150FE	-	7~9日	9~25日	25~91日	-0.247
C10-125FE	-	7~14日	14~35日	35~90日	-0.272
C10-100FE	-	7~14日	14~36日	35~91日	-0.254
C15-150AFE	7~9日	9~14日	14~34日	34~91日	-0.286
C15-150AF	7~9日	9~14日	14~35日	34~91日	-0.284
C15-150A	7~9日	9~14日	14~36日	34~91日	-0.291
C15-125AFE	-	7~12日	12~34日	34~91日	-0.271
C20-150AFE	-	7~9日	9~34日	34~91日	-0.227
C20-125AFE	-	7~9日	9~34日	34~91日	-0.247

注:-は時期が表れないものを示す。

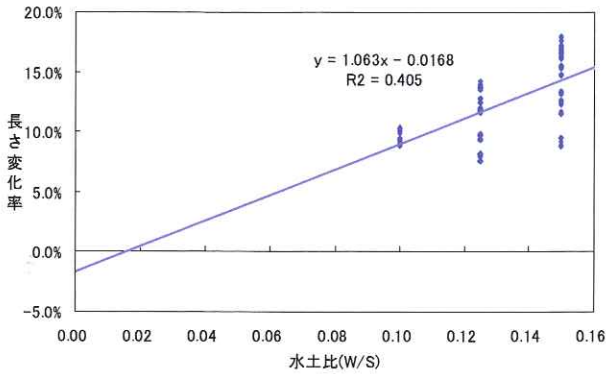


図 - 10 水士比と長さ変化との関係

水士比 (W/S) と安定期における長さ変化率との関係を図 - 10 に示す。水士比が大きくなると長さ変化率は大きくなる傾向にあった。しかし交換係数は 0.64 と、相関は強くなかった。

期間別により、促進減少期および減少期における質量減少率と長さ変化率との関係を図 - 11 に示す。促進減少期における質量減少率と長さ変化促進減少率との相関係数は 0.56 であり、質量減少期および長さ変化減少期の相関係数は 0.57 であった。したがって各期間における両者の関係はないと考えられる。

混和材による長さ変化率の影響を図 - 12 に示す。本実験では混和材料による影響は認められなかった。これは膨張材が長さ変化に影響するといわれている初期の材齢 7 日までを型枠養生とし、試験体の長さを測定していなかったためと考えられる。

3.6 凍結融解作用の抵抗性に関する実験結果および考察

水中凍結水中融解では、表面から層をなしてスケーリング (剥離) が始まり、最終的に破壊する現象が観られた (図 - 13)。これは、打込み時にコテで転圧して試験体を作製したため、表面から空気量の少ない層が多層になって試験体を作製されたためと考えられる。また、スケーリングが発生しない試験体は、中央部からの破壊現象が観られた。これらは、通常のコングリート試験体ではあまり発生しない現象であり、壁土独自の破壊現象である。特にコテで転圧しながら仕上げる土壁は、コングリートと相違した凍結融解作用が発生している可能性がある。半水中凍結半水中融解の試験体では、試験体の水面付近からスケーリングが発生していた (図 - 14)。また、気中凍結気中融解では、スケーリングなどの破壊状況は皆無であった。各調合による破壊時のサイクル数と破壊時の質量変化率を表 - 10 に示す。表より、C7-55HAF3E を除いて半水中凍結半水中融解および気中凍結気中融解では、明確な破壊状況は認められなかった。

図 - 15 に凍結融解サイクル数と質量減少率との関係について示す。水中凍結水中融解の試験体では、調合によりばらつきはあるものの、凍結融解試験を開始してから試験体表面から水分が浸入し、凍結融解を繰り返しながら水分を試験体内部へと押込めた。そのため質量が一定期間は増加する現象が観られた。その後、水分の押込める空間が無くなるとスケーリングが発生し、質量の減少が観られた。このことから、本研究で開発しようとしている壁土は、水分状況により、凍結融解作用の抵抗性に差があることが分かった。したがって、壁土の調合によって、冬期の雨水や積雪状況等により、使用方法を配慮する必要があるといえる。

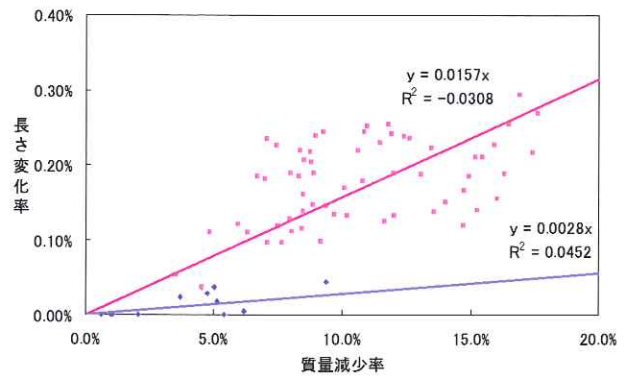


図 - 11 期間別の質量減少率と長さ変化との関係

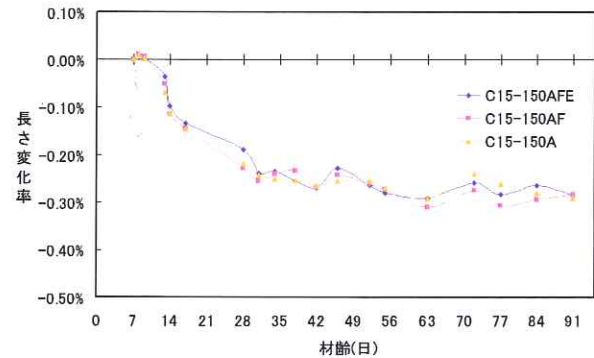


図 - 12 混和材料による長さ変化の影響



図 - 13 破壊状況 (左・右: 水中凍結水中融解)



図 - 14 破壊状況 (半水中凍結半水中融解)

表 - 10 各調合による破壊時のサイクル数と破壊時の質量変化率

調合名	水中		半水中		気中	
	破壊時 サイクル数	破壊時 質量減少	破壊時 サイクル数	破壊時 質量減少	破壊時 サイクル数	破壊時 質量減少
C10-78HAF3E	62	10.13	-	-5.37	-	0.79
	-	8.03	-	-5.27	-	0.56
C10-78HAF5E	31	-3.67	-	-3.62	-	1.77
	-	-0.98	-	-4.07	-	1.53
C10-73HAF3E	-	-1.04	-	-3.44	-	1.17
	41	5.46	-	-3.70	-	1.03
C10-83HAF3E	24	-3.99	-	-3.51	-	1.65
	-	-1.44	-	-2.89	-	1.07
C15-117HAF3E	-	21.13	-	-4.62	-	2.08
	7	-5.81	-	-5.07	-	3.21
C7-55HAF3E	7	-7.41	68	20.00	-	2.13
	41	49.12	65	18.42	-	2.07

注:-は試験終了時の凍結融解サイクル数の88サイクルを示す。

4 中国地方での使用地域における耐凍害性のシミュレーション

4.1 実験概要

本研究で検討した、セメントを混入した壁土を中国地方で建築物として使用する場合、冬期の気温が摂氏0℃以下となる地域もあるため、耐凍害性を考慮しなければならない。したがって、調合計画を行う際には、気象条件などの外部要因に関するデータから凍害劣化を予測する必要がある。このため、千歩らは²⁾、日最低温度の年間極値から、凍結融解作用を受ける鉄筋コンクリート造建築物の耐用年数を提案し、暴露試験の結果と比較した結果、程良く対応していることを確認し、耐久設計手法を提案している。

そこで、本研究では、この既往の研究結果を用いて、4章の結果から、本研究で用いた土およびセメントを用いたセメントを混入した壁土の耐凍害性についての利用性を検討した。

4.2 シミュレーション結果および考察

既往の研究より、年間に凍結融解作用を受ける回数は、日最低気温の年間極値と相関がある。各地域におけるJIS A 1148で繰り返す凍結融解条件と同等な凍結融解サイクル数(以下、地域回数と呼ぶ。)の算出式を式(5)~(7)に示す。

$$EC_x = -2.99 \times T_{\min \max} - 3.02 \quad \Lambda \quad (5)$$

$$EC_s = -3.18 \times T_{\min \max} - 4.22 \quad \Lambda \quad (6)$$

$$EC_N = -0.31 \times T_{\min \max} + 2.87 \quad \Lambda \quad (7)$$

ここに、 EC : 地域回数 (回/年)

$T_{\min \max}$: 日最低気温の年間極値

添字 X : 東西面

S : 南面

N : 北面

日最低気温の年間極値は、30年間(1971~2000年)のアメダスデータから平年値を算出し、その結果から、方位別に地域回数を算出した。なお、最大値が算出された方位が、その地域で最も耐凍害性の危険な方位となる。その結果の例(広島県)を、表-11に示す。耐用年数は、最大地域回数を3.6の破壊時のサイクル数で除すると算出される。その結果より、水が絶えず供給される場合は、0.18~17.61年となった。雨水がかかる程度であれば、C7-55HAF3Eのみ1.67~18.27年となり、その他の調合は影響なしとなった。水分の供給がない場合は、凍結融解作用の影響はない。各調合における耐用年数の算出結果の例を表-12に示す。このように、アメダスのデータより耐用年数が算出されるため、中国地方における調合計画を行うことができる。

5 まとめ

本研究から得られた成果を以下に示す。

- 1) 圧縮強さはコンクリートと同様に、セメント水比および水セメント比と関係があり、コンクリートと同様の水セメント比の算定式が提案できた。なお、強さ管理は材齢28日で行うべきである。
- 2) 強度算定式から求められた調合設計で、設定値(18 N/mm²)を超えるものとなり、強度算定式が成立する。
- 3) セメント土比が7%では、ワーカビリティが著しく悪く、圧縮強さは出現しなかった。
- 4) 試験体の寸法の大きさが圧縮強さに影響する。
- 5) 圧縮強さと静弾性係数との関係では、日本建築学会の基準式よ

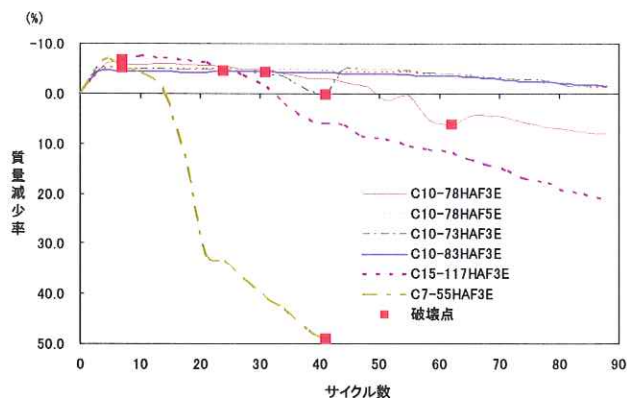


図-15 凍結融解サイクル数と質量減少率との関係

表-11 気象観測所のデータと地域回数(広島県)

観測所	年間極値 ℃	地域回数(EC)の方位(回/年)			最大 地域回数	
		東西面	南面	北面		
広島	高野	-13.60	37.64	39.03	7.09	39.03
	三次	-7.70	20.00	20.27	5.26	20.27
	庄原	-8.50	22.40	22.81	5.51	22.81
	大朝	-11.70	31.96	32.99	6.50	32.99
	油木	-10.90	29.57	30.44	6.25	30.44
	加計	-6.80	17.31	17.40	4.98	17.40
	可部	-4.70	11.03	10.73	4.33	11.03
	世羅	-10.60	28.67	29.49	6.16	29.49
	府中	-6.20	15.52	15.50	4.79	15.52
	東広島	-8.80	23.29	23.76	5.60	23.76
	福山	-5.50	13.43	13.27	4.58	13.43
	佐伯	-9.10	24.19	24.72	5.69	24.72
	広島	-2.10	3.26	2.46	3.52	3.52
	竹原	-3.20	6.55	5.96	3.86	6.55
	因島	-4.00	8.94	8.50	4.11	8.94
	大竹	-4.00	8.94	8.50	4.11	8.94
呉	-2.80	5.35	4.68	3.74	5.35	
久比	-3.40	7.15	6.59	3.92	7.15	

表-12 各調合の耐用年数(広島県)

観測所	各調合の耐用年数						
	C10-78HAF3E	C10-78HAF5E	C10-73HAF3E	C10-83HAF3E	C15-117HAF3E	C7-55HAF3E	
広島	高野	1.59	0.79	1.05	0.61	0.18	0.18
	三次	3.06	1.53	2.02	1.18	0.35	0.35
	庄原	2.72	1.36	1.80	1.05	0.31	0.31
	大朝	1.88	0.94	1.24	0.73	0.21	0.21
	油木	2.04	1.02	1.35	0.79	0.23	0.23
	加計	3.56	1.78	2.36	1.38	0.40	0.40
	可部	5.62	2.81	3.72	2.18	0.63	0.63
	世羅	2.10	1.05	1.39	0.81	0.24	0.24
	府中	4.00	2.00	2.64	1.55	0.45	0.45
	東広島	2.61	1.30	1.73	1.01	0.29	0.29
	福山	4.62	2.31	3.05	1.79	0.52	0.52
	佐伯	2.51	1.25	1.66	0.97	0.28	0.28
	広島	17.61	8.60	11.64	6.62	1.99	1.99
	竹原	9.47	4.73	6.26	3.67	1.07	1.07
	因島	6.94	3.47	4.59	2.69	0.78	0.78
	大竹	6.94	3.47	4.59	2.69	0.78	0.78
呉	11.58	5.79	7.66	4.48	1.31	1.31	
久比	8.68	4.34	5.74	3.36	0.98	0.98	

り下回るが、相関がある。

- 6) 乾燥収縮については、問題なく、凍結融解作用の抵抗性については、水分の供給に配慮をすれば、問題はないと考えられる。
- 7) 目安として、中国地方において耐用年数の算出は可能であり、調合計画を行うことができる。

【参考文献】

- 1) 社団法人日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説5鉄筋コンクリート工事,丸善株式会社,pp165-170,2003
- 2) 千歩修,松村光太郎,浜幸雄,友澤史紀:ASTM相当サイクルを用いた鉄筋コンクリート造建築物の凍害劣化予想手法,日本建築学会技術報告集,第17号,pp45-54,2004