

V—9 モルタルによる円筒重ね継手について

北海道工業大学 正 員 佐々木 勝男

〃 学生員 柴田 国光

〃 学生員 金森 秀文

〃 学生員 飯田 啓也

1 まえがき

本報告は、プレキャストコンクリートの鉄筋接続部分に円筒重ね継手を用い、円筒内に充てんするモルタルの作業性と強度の関係についての資料を得ようとしたものである。継手に用いられるモルタルの充てんは短時間に簡易で確実に作業をすることが要求される。これらの条件を満足できるように混和剤と膨張剤を混入して力学的性質を適切なものにした。このため強度については、通常の材料試験と継手の両引試験を行なった。作業性について、その評価の試みとして流動化係数を導入してこれらの関係を実験的に求めようとしたものである。

2 実験概要

1) 充てんモルタルの配合

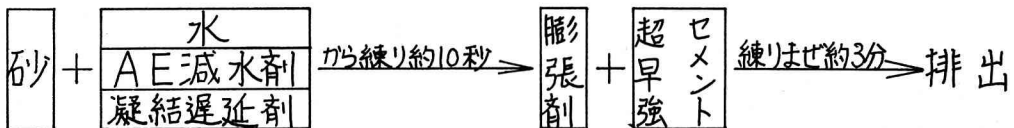
モルタルの配合については、表-1のような因子及び水準を選んだ。そして、L27の直交表に割り当て全27回の実験を無作為の順序で行なった。曲げ及び圧縮試験については、モルタル供試体の材令、1日、3日、7日間経過ごとに測定した。ただし表-1の数値は超早強セメント重量と膨張剤重量の和に対する重量比である。

表-1 因子及び水準

因 子	水準1	水準2	水準3
水セメント比	45 %	50 %	55 %
AE減水剤	0.00 %	0.03 %	0.06 %
凝結遅延剤	0.0 %	0.3 %	0.6 %

(超早強セメント重量と膨張剤重量の和に対する重量比)

2) 充てんモルタルの混合



砂：広島産の砂 0.6 mmふるいを通じたものを超早強セメント重量と膨張剤重量の和に対して50%混入した。膨張剤：超早強セメント重量に対して12%混入した。

3) 円筒重ね継手供試体の作成

継手に使用した鉄筋は、呼び名直径13mmの異形棒鋼(SD30)を使用した。円筒については外径48.6mm、内径43.2mmのものを長径/短径 = 19/7 の楕円に成形したものを使用した。継手長引抜試験を行なった時に、鉄筋が切断されずに充てんモルタルのせん断強度が測定できる長さとした。上記の使用材料については、予備実験を行なった結果、継手長は120mmとした。モルタルの注入については、構造物の接合状態を再現するように鉄筋と円筒を台の上にセットし、練りませ直後のモルタルを垂直にした円筒内に注入した。

モルタルを注入する前の鉄筋と円筒の状態を写真-1に示す。

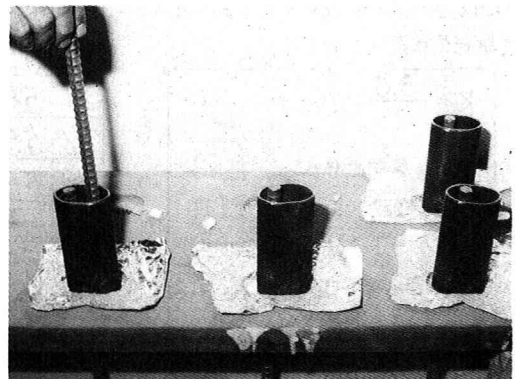


写真-1 継手供試体の作成要領

4) 供試体の作成

充てんモルタルの軟らかさを知る一つ的手段としてフロー試験を行い、フロー値を測定した。又その値を元に、圧縮・曲げ試験の供試体を作成する型枠にモルタルを詰める突き数を決めた。供試体の養生にあたっては、温度20℃・湿度80%の恒温中において養生し、24時間経過したのち水中養生とした。

5) コンシステンシー試験

Jロート流出口を指で押えて、充てんモルタルをロート上面まで注ぐ。指を離し充てんモルタルを流出させ、流出管からの充てんモルタルの流下が止まるまでの時間をストップウォッチで測定した。

6) 強度試験

a) 曲げ試験：曲げ試験の供試体は成形後1日(恒温室24時間)、3日(恒温室24時間)水中2日間、7日(恒温室24時間、水中6時間)を経たのち、ミハエリスニ重てこ形曲げ強さ試験機を用い、各材料ごとに3個の供試体について行う。

b) 圧縮試験：圧縮試験用の供試体は曲げ試験によって切断された6個の供試体を用いた。供試体を成形したときの両測面を加圧面とし、圧縮強さ試験機(50TON万能試験機)にセットして強度を測定する。

c) 円筒重ね継手の供試体の引抜試験：引抜試験はモルタル注入の終わった継手を恒温室で7日間養生して、50TON万能試験機で引抜試験を行う。

3. 実験結果

1) 作業性に関する試験結果

それぞれの充てんモルタルの配合に対してコンシステンシー試験(Jロート)を行い、表-2に見る流下時間を、この流下時間から流動化係数Kを下式で示す。実験結果は表-2に示す。

$$K = \frac{3.9}{t}$$

K：流動化係数

t：充てんモルタルがJロートを流下する時間(秒)

3.9：水がJロートを流下する時間(秒)

表-2 作業性についての実験結果

NO	水セメント比	AE減割率	凝結遅延有	実験結果			
				フロー値(cm)	流下時間(秒)	判定	流動化係数K
1	45 %	0.00 %	0.0 %	16.4	中止	X	0
2	45 %	0.00 %	0.3 %	22.1	50	X	0
3	45 %	0.00 %	0.6 %	26.1	61	○	0.0639
4	45 %	0.03 %	0.0 %	17.4	15	X	0
5	45 %	0.03 %	0.3 %	21.6	10	X	0
6	45 %	0.03 %	0.6 %	28.6	12	○	0.3250
7	45 %	0.06 %	0.0 %	17.2	15	X	0
8	45 %	0.06 %	0.3 %	23.9	65	○	0.0600
9	45 %	0.06 %	0.6 %	27.9	21	○	0.1857
10	50 %	0.00 %	0.0 %	22.6	88	X	0
11	50 %	0.00 %	0.3 %	27.6	9	○	0.4333
12	50 %	0.00 %	0.6 %	30.0	8	○	0.4875
13	50 %	0.03 %	0.0 %	18.8	21	X	0
14	50 %	0.03 %	0.3 %	26.7	9	○	0.4333
15	50 %	0.03 %	0.6 %	29.8	11	○	0.3545
16	50 %	0.06 %	0.0 %	19.5	45	X	0
17	50 %	0.06 %	0.3 %	27.0	13	○	0.3000
18	50 %	0.06 %	0.6 %	30.0	7	○	0.5571
19	55 %	0.00 %	0.0 %	22.3	80	X	0
20	55 %	0.00 %	0.3 %	28.8	7	○	0.5571
21	55 %	0.00 %	0.6 %	30.0	7	○	0.5571
22	55 %	0.03 %	0.0 %	20.7	6	X	0
23	55 %	0.03 %	0.3 %	30.0	6	○	0.6500
24	55 %	0.03 %	0.6 %	30.0	6	○	0.6500
25	55 %	0.06 %	0.0 %	18.7	11	X	0
26	55 %	0.06 %	0.3 %	30.0	6	○	0.6500
27	55 %	0.06 %	0.6 %	30.0	6	○	0.6500

○：完全流下，X：流下中に詰まる

表-3 強度についての実験結果

NO	水セメント比	AE減水剤	凝結遅延剤	曲げ強度 (kgf/cm ²)			圧縮強度 (kgf/cm ²)			引抜せん断強度 (kgf/cm ²)
				1日目	3日目	7日目	1日目	3日目	7日目	
1	45 %	0.00 %	0.0 %	53.8	74.0	108.1	423	470	542	130
2	45 %	0.00 %	0.3 %	66.3	110.3	125.4	375	458	497	138
3	45 %	0.00 %	0.6 %	59.2	99.6	100.8	321	426	498	139
4	45 %	0.03 %	0.0 %	73.8	130.4	142.4	479	501	565	134
5	45 %	0.03 %	0.3 %	74.7	110.6	127.0	342	467	526	130
6	45 %	0.03 %	0.6 %	81.7	90.5	111.5	316	414	531	128
7	45 %	0.06 %	0.0 %	78.1	83.6	126.1	440	515	573	132
8	45 %	0.06 %	0.3 %	68.0	110.0	112.6	344	485	531	138
9	45 %	0.06 %	0.6 %	81.2	94.5	112.5	367	444	544	124
10	50 %	0.00 %	0.0 %	63.4	99.7	111.4	369	510	584	131
11	50 %	0.00 %	0.3 %	75.3	95.2	104.2	330	468	549	131
12	50 %	0.00 %	0.6 %	68.3	63.3	89.6	317	371	508	110
13	50 %	0.03 %	0.0 %	57.5	95.7	92.9	334	469	527	120
14	50 %	0.03 %	0.3 %	72.2	96.3	97.9	328	480	554	124
15	50 %	0.03 %	0.6 %	74.0	74.3	94.1	333	429	525	124
16	50 %	0.06 %	0.0 %	66.9	82.1	94.3	343	498	573	132
17	50 %	0.06 %	0.3 %	65.8	93.7	104.2	345	477	535	123
18	50 %	0.06 %	0.6 %	72.2	67.3	96.1	311	414	487	137
19	55 %	0.00 %	0.0 %	46.6	70.8	80.5	272	460	494	120
20	55 %	0.00 %	0.3 %	64.9	63.0	87.8	291	413	502	114
21	55 %	0.00 %	0.6 %	63.3	65.1	84.8	276	360	464	114
22	55 %	0.03 %	0.0 %	44.9	73.8	64.9	274	421	494	122
23	55 %	0.03 %	0.3 %	57.8	69.0	81.7	253	413	475	102
24	55 %	0.03 %	0.6 %	62.8	57.5	85.6	261	356	457	107
25	55 %	0.06 %	0.0 %	49.0	72.2	72.3	233	440	484	116
26	55 %	0.06 %	0.3 %	59.6	64.0	74.8	255	442	487	101
27	55 %	0.06 %	0.6 %	59.7	54.9	77.8	261	400	473	109

2) 強度に関する試験結果

曲げ及び圧縮試験の結果を表-3に示す。引抜試験の結果については、引抜せん断強度になおした。

$$\tau = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot l} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

τ: 引抜せん断強度(kgf/cm²), D: 鉄筋直径(1.3cm)

l: 鉄筋が円筒に入っている長さ(12cm)

3) フロー試験の分析

各充てんモルタルのフロー値を分散分析すると表-4のようになり、水セメント比(A)及び凝結遅延剤(C)が危険率1%で有意となり、水セメント比(A)と凝結遅延剤(C)の交互作用が5%危険率有意水準を満足させた。

以上の検定で有意となった水セメント比(A)の主効果を図-2、凝結遅延剤の主効果を図-3、水セメント比と凝結遅延剤の交互作用を図-4に示す。

4) 流動化係数の分析

流動化係数の分析もフロー値と同様に分散分析を行った結果、水セメント比(A)及び凝結遅延剤(C)が1%危険率有意水準を十分に満足させた。又水セメント比(A)と凝結遅延剤(C)の交互作用(A×C)も1%危険率有意水準を満足させた。

以上の検定で有意となった水セメント比(A)の主効果を図-5、凝結遅延剤(C)の主効果を図-6、水セメント比(A)と凝結遅延剤(C)の交互作用(A×C)を図-7に示す。

すなわち、充てんモルタルの作業性には、水セメント比(A)と凝結遅延剤(C)がもっとも大きい影響を与え、それらの交互作用(A×C)も影響を与える要因となる事を以上の結果は示している。

実験シリーズ毎に自由度の総計は26とし、F検定において判定を行ない、1%危険率、5%危険率で有意となった時にそれぞれ**及び*を付す。

表-4 フロー値の分散分析

要因	平方和	自由度	平均平方和	F値	寄与率
水セメント比(A)	95.01	2	47.51	65.95**	15.54
AE減水剤(B)	0.32	2	0.16	0.22	0
凝結遅延剤(C)	466.83	2	233.41	342.02**	77.27
(A)×(B)交互作用	8.50	4	2.13	2.95	0.93
(A)×(C)交互作用	17.56	4	4.39	6.09*	2.44
(B)×(C)交互作用	8.32	4	2.08	2.89	0.90
残差e'	5.76	8	0.72		2.92
合計	602.30	26			

図-2 水セメント比の主効果

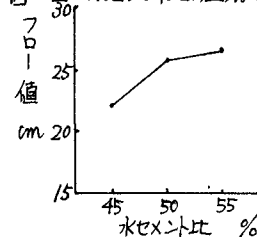


図-3 凝結遅延剤の主効果

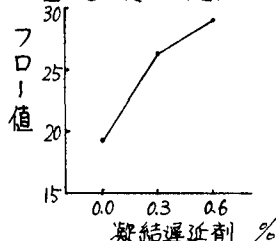


図-4 水セメント比と凝結遅延剤の交互作用

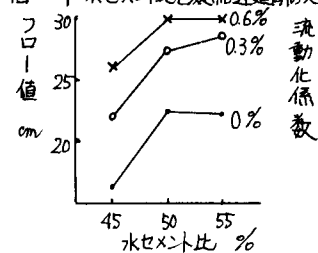


図-5 水セメント比の主効果

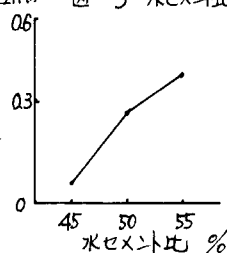


表-5 流動化係数の分散分析

要因	平方和	自由度	平均平方和	F値	寄与率
水セメント比(A)	0.54	2	0.27	27.0**	28.26
AE減水剤(B)	0.01	2	0	0	0
凝結遅延剤(C)	0.92	2	0.46	46.0**	48.91
(A)×(C)交互作用	0.29	4	0.07	7.0**	14.67
残差e'	0.08	16	0.01		9.24
合計	1.84	26			

図-6 凝結遅延剤の主効果

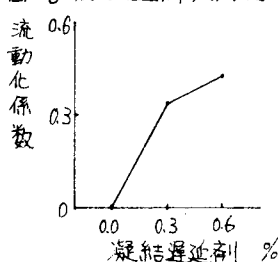
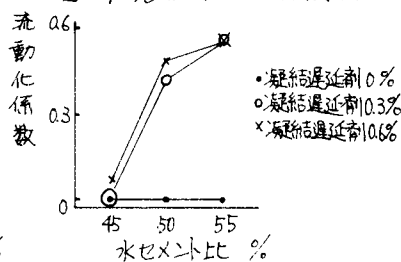


図-7 水セメント比と凝結遅延剤の交互作用



5) 圧縮強度の分析

フロー値及び流動化係数の分析には、L27の直交表に水セメント比(A)、AE減水剤(B)及び凝結遅延剤(C)の3因子をとり、割り付けて分散分析を行なった。曲げ及び圧縮試験については材令(D)を加え、4因子をとり分散分析を行なう。その結果が表-6の様になり材令(D)と水セメント比(A)が1%危険率有意水準を満足させた。又、凝結遅延剤(C)が危険率5%で有意となった。

以上の検定で有意となった材令(D)の主効果を図-8、水セメント比(A)の主効果を図-9、凝結遅延剤(C)の主効果を図-10に示す。

6) 曲げ強度の分析

圧縮強度の分析結果同様、材令(D)及び水セメント比(A)が1%危険率で有意となり、材令(D)と水セメント比(C)の交互作用が5%危険率有意水準を満足させた。

以上の検定で有意となった材令(D)の主効果を図-11、水セメント比(A)の主効果を図-12、材令(D)と水セメント比(A)の交互作用を図-13に示す。

7) 円筒重ね継手供試体の引抜き試験の結果についての分析

充てんモルタルを注入した円筒重ね継手の供試体についてそれぞれ引抜き試験を行なった。その結果を、せん断強度で表わし分散分析したものを表-8に示す。その結果、水セメント比(A)が危険率1%で有意となり図-14に示す。

表-6 曲げ強度の分散分析

要因	平方和	自由度	平均平方和	F 値	寄与率
材 令 (D)	5694.29	2	2847.15	33.61 **	37.53
水セメント比 (A)	5578.26	2	2789.13	32.92 **	36.74
凝結遅延剤 (C)	114.24	2	57.12	0.67	0
AE減水剤 (B)	80.13	2	40.06	0.47	0
(D)×(A) 交互作用	1403.79	4	350.95	4.14 *	7.23
(D)×(C) 交互作用	1002.46	4	250.62	2.96	4.51
残 差 e'	847.16	10	84.72		13.99
合 計	14720.33	26			

図-8 材令の主効果

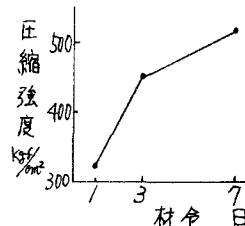


図-9 水セメント比の主効果

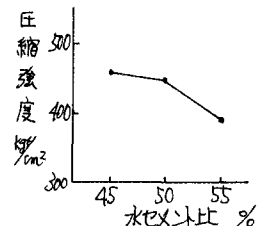


図-10 凝結遅延剤の主効果

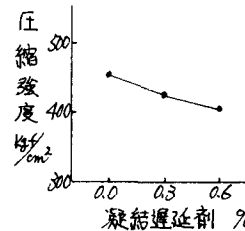


図-11 材令の主効果

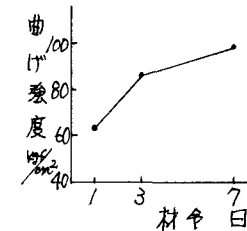


表-7 圧縮強度の分散分析

要因	平方和	自由度	平均平方和	F 値	寄与率
材 令 (D)	177842.00	2	88921.00	113.91 **	76.62
水セメント比 (A)	25628.70	2	12814.30	16.42 **	10.46
凝結遅延剤 (C)	9712.90	2	4856.45	6.22 *	3.54
AE減水剤 (B)	308.22	2	154.11	0.20	0
(D)×(A) 交互作用	4952.67	4	1238.17	1.59	0.80
(A)×(C) 交互作用	3833.78	4	958.45	1.23	0.31
残 差 e'	7806.00	10	780.60		8.27
合 計	230084.27	26			

図-12 水セメント比の主効果

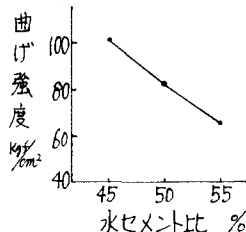


図-13 材令と水セメント比の交互作用

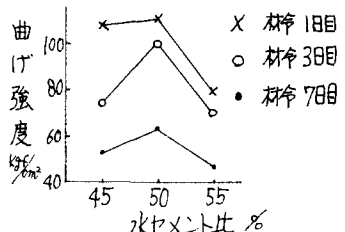
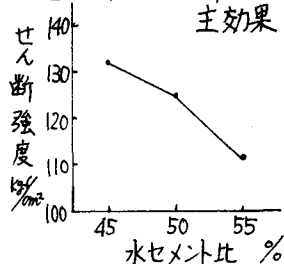


表-8 引抜強さの分散分析

要 因	平方和	自由度	平均平方和	F 値	寄与率
水セメント比(A)	4735394.67	2	2367697	20.18**	59.94
AE減水剤(B)	174998.22	2	87499	0.75	0
凝結遅延剤(C)	302056.22	2	151028	1.29	0.89
残 差 c	2346850.89	20	117343		39.57
合 計	7559300.00	26			

図-14 水セメント比の主効果



4 考察及び結果

各試験の結果の相互関係について表-9に示す。特にフロー値と流動化係数の相関係数が0.88と高い結果を得た。フロー値について流動化係数の高い充てんモルタルが、フローテーブルから流れ落ちるという欠点がある。コンシステンシー試験より得た流動化係数は、作業が簡単で数値的にも信頼が高いため、充てんモルタルの作業性を示すのに効果的である。

表-9 試験結果の相互関係

	曲げ7日	圧縮7日	引抜7日	流動化係数	フロー値
曲げ7日		0.65	0.69	-0.45	-0.37
圧縮7日	0.65		0.58	-0.54	-0.50
引抜7日	0.69	0.58		-0.66	-0.48
流動化係数	-0.45	-0.54	-0.66		0.88
フロー値	-0.37	-0.50	-0.48	0.88	

充てんモルタルの作業性を向上させるためには、水セメント比の増加及び凝結遅延剤の混入が有効であることが見られた。充てんモルタルに超早強セメントを使用しているために、モルタル内に斑が生じ粒状のかたまりが出来、ドロートの流下口をふさいでしまった。このように凝結遅延剤を混入しない充てんモルタルについては、水セメント比を高くしても円筒重ね継ぎ手には、適切な充てんがむずかしい。又圧縮試験・曲げ試験及び引抜試験の結果を分散分析すると、水セメント比を45%から55%と増加することにより、引抜強度・圧縮強度で15%、曲げ強度については、35%強度が低下する。したがって、継ぎ手作業が出来るまで軟らかくすると、所定の強度が得られない。凝結遅延剤については、フロー値及び流動化係数を分散分析した結果、最も大きい影響を与えている。圧縮試験・曲げ試験及び引抜試験の結果を分散分析すると圧縮強度及び円筒重ね継ぎ手供試体のせん断強度ではほとんど影響を与えない。曲げ強度では5%危険率で有意となる値が得られた。したがって、強度を下げずに作業性を高めることができる。AE減水剤については、作業性及び強度に影響をあたえていない。

本報告では、充てんモルタルの作業性を表わすために、流動化係数を導入した。これは、ドロートの流出口を充てんモルタルがすみやかに流下すれば、円筒重ね継ぎ手円筒内のすみずみまで、充てんモルタルがいきわたるものと考え、ドロートを用いてコンシステンシー試験を行なった。次にその結果を水の流下時間(3.9秒)と比較することによって充てんモルタルのコンシステンシーを表わそうとしたものである。