ポリマーエマルジョン散布打継工法を適用した 若材令コンクリート打継目の接着強度[†]

沢 出 稔*

Adhesion of Construction Joint of Early-Age Concrete by Polymer Emulsion Treatment

by

Minoru SAWAIDE*

In the construction of reinforced concrete structures, the construction joint work of early-age concrete is often required. Conventional techniques for adhesion improvement in the construction joint work are wire-brushing, green-cut, retarder spraying and epoxy resin-based adhesive spraying. However, it is difficult to apply the conventional techniques to the early-age concrete within 72 hours after placing because of the poor strength development of the concrete. The author has developed an improved technique using polymer emulsion treatment for the construction joint work of the early-age concrete. The purpose of this study is to make clear the effects of polymer type, jointing time and jointing method on the adhesion of the construction joints to which the polymer emulsion treatment technique is applied.

Concrete was placed into molds, and the surfaces of early-age concrete were treated by polymer emulsion spraying with or without subsequent polymer cement paste spraying. Then, jointing concrete was mixed and placed on the treated concrete surfaces at various jointing times for preparing construction joint. The adhesion in tension of the construction joints was determined at curing periods of 28 days and 6 months for the jointing concrete. In conclusion, the treatment of the early-age concrete surfaces by polyacrylic ester emulsion spraying within 36 hours after placing provides high adhesion in tension of the construction joints, as compared to the treatments using styrene butadiene rubber latex and ethylene-vinyl acetate emulsion. Spraying of the polymer cement pastes on the construction joints treated by the polymer emulsion spraying causes an improvement of the adhesion in tension of the joints. Accordingly, it is considered that the polymer emulsion treatment is most useful for the construction joint work of the early-age concrete.

Key words : Construction joints, Early-age concrete, Polymer emulsions, Adhesion in tension, Polymer cement pastes

1 緒 言

コンクリート構造物の打継施工が不良の場合、打継目の強度不足、漏水などの問題が生じ、そのような打継目の欠陥が原因となって、構造物の耐久性が損なわれていくことが良く知られている。この打継施工で常に問題になるのは、コンクリートのブリージング現象に伴って形成されるレイタンス層の存在である。一般に、コンクリート打継面の処理はレイタンス層の除去を目的とし、その処理方法としては、ワイヤーブラシ¹⁾がけ、グリーンカットおよび遅延剤の打継面散布などが採用されている。また、レイタンス層をワイヤーブラシなどで除去した後に、エポキシ樹脂、ポリエステル樹脂などの合成樹脂系接着剤を打継面に塗布する方法²⁾も知られている。

しかし、これらの処理方法は、打込み後2～72時間以内の若材令コンクリートに新しいコンクリートを打継ぐ場合には適用が難しい。これは、若材令コンクリートの場合、コンクリートの硬化が十分でないため、ワイヤーブラシがけなどによるレイタンスの除去が困難となるためである。一方、遅延剤を打継面に散布する方法は、遅延剤散布量および打継時の温度により遅延時間が変化するので取り扱いが難しく、その施工に当っては、経験に基づいた高度な技術が要求される。また、エポキシ樹脂などを打継面に塗布する方法も、若材令コンクリートが高含水率で、強いアルカリ雰囲気であるため、その適用が制限される。そこで、著者は若材令コンクリートの打継ぎを行う方法として、打込み直後のコンクリート表面にポリマーエマルジョン

[†] 原稿受理 平成2年12月10日 Received Dec. 10, 1990

* 正 会 員 清水建設(株)技術研究所 東京都江東区越中島, Institute of Technology, Shimizu Corporation, Etchujima, Koto-ku, Tokyo

を散布する打継処理方法³⁾を提案し、これまで、本工法の有用性を明らかにしている。^{4),5)}

本論文では、ポリマーエマルジョン散布打継工法を適用した若材令コンクリート打継目の引張接着強度に与えるポリマーエマルジョンの種類、コンクリートの打継時間、打継処理方法および材令の影響について検討する。

2 試験方法

2・1 使用材料

2・1・1 セメントおよび骨材 セメントには、普通ポルトランドセメントを用いた。セメントの性質を Table I に示す。また、細骨材としては鬼怒川産川砂を、粗骨材には、鬼怒川産川砂利を用いた。骨材の性質を Table II に示す。

Table I. Physical properties and chemical compositions of cement.

Specific gravity (20°C)	Specific surface area (cm ² /g)	Setting time (h-min)		Soundness		
		Initial	Final			
3.16	3190	2-34	3-52	Good		
Compressive strength (kgf/cm ²)		ig. loss (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Cl ₂ (%)	
3d	7d	28d	0.7	1.4	2.0	0.006
139	239	416				

Table II. Properties of aggregates.

Type of aggregate	Maximum size (mm)	Specific gravity (20°C)	Water absorption (%)	Unit weight (kg/l)
Sand	5	2.59	2.14	1.65
Gravel	25	2.61	1.45	1.72

2・1・2 ポリマーエマルジョン ポリマーエマルジョンとしては、JIS A 6203 (セメント混和用ポリマーディスパージョン) に合格するポリアクリル酸エステルエマルジョン (以下、PAE エマルジョンと略称する)、スチレンブタジエンゴムラテックス (以下、便宜上、SBR エマルジョンと略称する) およびエチレン酢酸ビニルエマルジョン (以下、EVA エマルジョンと略称する) を使用した。ポリマーエマルジョンの性質を Table III に示す。

2・2 コンクリートの調製

JIS A 1132 (コンクリートの強度試験用供試体の作り方) に準じて、Table IV に示す調合のコンクリートを調製した。

2・3 供試体の作製

寸法 100×100×400 mm の鋼製型枠中へ、下地コンクリートを高さ 50 mm まで打込み、

Table III. Physical properties of polymer emulsions.

Type of polymer emulsion	Average particle size (μm)	Specific gravity (20°C)	pH (20°C)	Viscosity (20°C, cP)	Total solids (%)
PAE	0.30	1.05	9.6	43	44.5
SBR	0.23	1.06	8.8	163	47.8
EVA	0.33	1.06	4.9	750	43.6

Table V に示す条件で、その表面処理を施した後、下地コンクリートと同じ調合の打継コンクリートを打込んだ。供試体は、打継コンクリート打込み 24 時間後に脱型し、恒温恒湿室 (20±3 °C, 55±10 % R. H.) にて養生した。その後、打継コンクリートの材令 21 日で、コンクリートカッターにより、Fig. 1 に示す位置で供試体を寸法 100×100×100 mm に切断し、引張接着強度試験用供試体とした。供試体はそれぞれ異なる 4 個の寸法 100×100×400 mm の試験体から切り出したもの各 1 個ずつ、合計 4 個を 1 組として試験に供した。なお、比較用として、なんらの打継処理も施さない無処理打継コンクリート供試体も同時に作製した。以下に、Table V に示した各打継処理方法の詳細を示す。

- a 処理: 下地コンクリート打込み直後、ポリマーエマルジョンを散布 (散布量: 0.03 g/cm²)
 b 処理: 打継コンクリート打込み 30 分前、ポリマーエマルジョンを散布 (散布量: 0.01 g/cm²)
 c 処理: 打継コンクリート打込み直前、散布したポリマーエマルジョンを用いて調製したポリマーセメントペースト (水セメント比 40%, ポリマーセメント比 10%) を散布 (散布量: 0.1 g/cm²)
 abc, ab, ac および bc 処理: 上述の a, b および c

Fig. 1. Slicing of specimen.

Table IV. Mix proportions of concrete.

Maximum size of coarse aggregate (mm)			Slump (cm)	Air content (%)	Water-cement ratio (%)	Sand percentage (%)	Unit water content (kg/m ³)
25			20	4.0	63	47.7	190
Absolute volume (l/m ³)			Weight (kg/m ³)			Air entraining and water reducing agent (g/m ³)	
Cement	Sand	Gravel	Cement	Sand	Gravel		
95	332	364	300	860	950	750	

Table V. Joining time and treatment methods of substrates.

Joining time (h)	Treatment method*					
6	abc	ab	ac	a	bc	b
12	abc	ab	ac	a	bc	b
18	abc	ab	ac	a	bc	b
24	abc	ab	ac	a	bc	b
36	abc	ab	ac	a	bc	b
72	abc	ab	ac	a	bc	b

* abc, ab, ac and bc are the combined treatment procedures by method a, b and c.

処理を組み合わせる

ここで、ポリマーセメント比とは、セメントに対するポリマーエマルジョンの全固形分の重量比をいう。

2・4 引張接着強度試験

打継コンクリートの材令 26 日において、エポキシ樹脂接着剤を用いて、寸法 $100 \times 100 \times 25$ mm のナット付き鋼製ジグを供試体上下面に張り付けた。その後、打継コンクリートの材令 28 日および 6 箇月において、ひょう量 30 t のアムスラー型万能試験機を用い、荷重速度 2.5 kgf/s として、Fig. 2 に示す方法により引張接着強度試験を行った。

なお、試験後の供試体の破壊状況を Fig. 3 に示す 3 種類に分類し、おのおのの破壊割合を面積の百分率で記録した。

3 試験結果および考察

3・1 打継目の引張接着強度に影響する因子

打継ぎのないコンクリートの材令 28 日での圧縮強度は 283 kgf/cm^2 および引張強度は 17.6 kgf/cm^2 である。また、Table VI には、本実験で得られた若材令コンクリート打継目の材令 28 日における引張接着強度および引張接着強度試験後の破壊割合を示す。若材令コンクリート打継目の引張接着強度に影響する因子を特定するため、材令 28 日で得られた試験結果について、ポリマーエマルジョンの種類、打継処理方法および打継時間の 3 つを要因とした三元配置法による分散分析を行った。Table VII に分散分析結果を示す。F 値の算出結果から推察すれば、ポリマーエマルジョン散布打継工法を適用した若材令コンクリート打

Fig. 2. Adhesion test in tension for specimen.

継目の引張接着強度に最も影響を及ぼす因子は、打継処理に使用するポリマーエマルジョンの種類であり、次いで、打継時間である。ポリマーエマルジョンの種類の違いにより、引張接着強度に差が生じた原因としては、以下のように考えられる。すなわち、粘度の低い PAE エマルジョンは、ブリージング水の引込みに伴って下地コンクリート中へ浸透しやすく、十代田のいうコンクリート表層部のぜい弱層⁶⁾を補強するのに適しているのに対し、PAE エマルジョンより粘度の高い SBR および EVA エマルジョンでは、下地コンクリート中へ引込まれにくく、コンクリート表層部のぜい弱層への浸透が不十分となるためである。

3・2 打継目の引張接着強度とポリマーエマルジョンの種類の関係

Fig. 4～Fig. 9 には、それぞれ、打継処理方法別に、各種ポリマーエマルジョンを用いて打継いだコンクリート打継目の材令 28 日における引張接着強度と打継時間の関係を示す。一部を除けば、いずれの処理方法を適用した打継目の引張接着強度とも、無処理打継目より高い値を示している。ここに、無処理打継コンクリート打継目の引張接着強度は、打継時間が増加するにつれて減少し、打継時間が 36 時間以降では接着性が得られていない。また、b 処理で打継時間が 72 時間の測定点を除き、打継目の引張接着強度はすべて PAE エマルジョンを用いたものが最も高く、SBR および EVA エマルジョンを用いたコンクリート打継目の引張接着強度間には大きな差は認められない。Table VI より、引張接着強度試験後の供試体の破壊状況は、PAE エマルジョンを適用したものではコンクリートの凝集破壊の割合が多く、SBR および

EVA エマルジョンを用いたものでは打継目の接着破壊の割合が多い。これは、PAE エマルジョンが下地コンクリート表層部を十分強化しているのに対し、SBR および EVA エマルジョンは、その補強が不十分であることを裏付けている。以上より、本研究の範囲

Fig. 3. Modes of failures in specimens after adhesion test in tension.

Table VI. Adhesion in tension and percentage of cohesive or adhesive failure of construction joints treated with polymer emulsions (Curing period : 28 days).

Type of polymer emulsion	Treatment method	Adhesion in tension (kgf/cm ²)						Percentage of adhesive or cohesive failure (%)*																	
		Jointing time (h)						Jointing time : 6 h			Jointing time : 12 h			Jointing time : 18 h			Jointing time : 24 h			Jointing time : 36 h			Jointing time : 72 h		
		6	12	18	24	36	72	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
PAE	abc	15.7	10.0	9.7	10.3	10.7	15.3	20	80	0	10	50	40	100	0	0	100	0	0	25	75	0	100	0	0
	ab	13.8	16.1	17.2	17.5	9.2	15.0	30	70	0	45	55	0	63	37	0	100	0	0	100	0	0	58	42	0
	ac	16.3	15.1	12.2	13.4	12.5	9.7	78	20	2	0	100	0	100	0	0	40	45	15	15	50	35	8	87	5
	a	16.0	10.2	10.4	12.9	9.6	8.7	53	47	0	0	100	0	70	30	0	65	35	0	100	0	0	3	97	0
	bc	17.4	16.9	15.7	15.2	8.8	9.6	100	0	0	50	50	0	100	0	0	53	45	2	100	0	0	73	27	0
	b	6.4	9.6	9.7	13.6	6.4	6.0	40	60	0	10	90	0	100	0	0	100	0	8	92	0	5	95	0	0
SBR	abc	13.8	5.5	3.7	5.2	5.8	6.4	43	52	5	45	55	0	0	100	0	20	80	0	5	85	10	3	97	0
	ab	5.0	5.3	7.1	7.4	3.0	6.8	100	0	0	35	65	0	3	97	0	0	100	0	3	97	0	3	97	0
	ac	7.2	3.9	5.9	5.3	4.0	5.7	30	60	10	18	82	0	8	92	0	8	92	0	15	85	0	5	92	3
	a	12.1	3.0	5.5	7.6	5.0	6.8	75	25	0	0	100	0	0	100	0	0	100	0	15	85	0	0	100	0
	bc	6.7	4.5	4.4	4.6	2.0	3.1	53	47	0	28	72	0	0	50	50	0	100	0	5	90	5	0	100	0
	b	4.1	5.0	3.3	4.7	1.4	3.4	90	10	0	0	100	0	0	100	0	3	97	0	0	100	0	13	87	0
EVA	abc	7.3	5.4	4.1	2.5	1.7	3.7	15	85	0	20	75	5	5	45	50	33	67	0	8	92	0	5	3	92
	ab	2.6	5.0	6.7	9.2	2.5	3.8	100	0	0	30	70	0	55	45	0	20	80	0	15	85	0	5	95	0
	ac	5.4	4.3	5.6	5.8	4.1	2.4	60	40	0	30	70	0	0	50	50	8	92	0	15	75	10	18	0	82
	a	6.1	2.5	5.2	8.8	5.0	1.5	100	0	0	38	62	0	58	42	0	18	82	0	25	75	0	20	80	0
	bc	7.2	6.8	5.0	2.5	2.1	7.3	35	65	0	0	100	0	0	80	20	0	45	55	5	80	15	10	42	48
	b	3.5	4.8	3.7	4.7	1.0	6.7	0	100	0	10	90	0	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0	100	0

* A : Cohesive failure in concrete.
B : Adhesive failure.
C : Cohesive failure in polymer cement paste.

Table VII. Values of statistic F for the indicator.

Factors	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square	F
Type of polymer A	2	1060.24	530.12	96.04*
Treatment method B	5	88.55	17.71	3.21**
Jointing time C	5	263.09	52.62	9.53*
Interaction A×B	10	96.46	9.65	1.75
Interaction B×C	25	173.29	6.93	1.26
Interaction C×A	10	212.77	21.28	3.86*
Residual	50	275.87	5.52	—

* Since at the 1% level, the hypothesis is rejected.
** Since at the 5% level, the hypothesis is rejected.

では、本工法による若材令コンクリートの打継ぎには、PAE エマルジョンが適しているといえる。

3・3 打継目の引張接着強度と打継時間の関係

Fig. 4～Fig. 9 に示したように、打継時間と引張接

着強度の間に明確な相関性は認められないが、ほとんどの場合、打継時間が 24 時間で打継目の引張接着強度の増加が認められ、この時点で最大値を示すものもある。打設時間の違いによるこのような接着強度の変化は、打継時のポリマーエマルジョンの成膜状態および膜厚、セメント組織の水和状態などの影響によるものと推察される。著者は、すでに、ポリマーエマルジョン散布による若材令モルタル打継目の引張接着強度が、各打継時間における打継界面のポリマー膜厚と高い相関を有することを明らかにしている⁴⁾。しかし、モルタルに比べて、コンクリートは打継面の凹凸が著しいため、本研究においては、そのような相関性を見いだすに至らなかった。一方、Table VI に示すように、打継目の破壊状況については、打継時間が 6 および 12 時間では、ポリマーエマルジョンの種類による大きな違いは認められない。しかし、PAE エマルジョンを用いたものは、打継時間が 18 時間以降で、コンクリートの凝集破壊の割合が多いのに比べ、SBR および EVA エマルジョンで打継いたものは、接着破壊の割合が多い。これは、本研究で用いた

Treatment method abc:

Polymer emulsion spraying immediately after placing existing concrete (a) and 30 min before placing new concrete (b), then polymer cement paste spraying immediately before placing new concrete (c)

Fig. 4. Jointing time vs. adhesion in tension of 28-d-cured construction joints treated by method abc.

Treatment method ab:

Polymer emulsion spraying immediately after placing existing concrete (a) and 30 min before placing new concrete (b)

Fig. 5. Jointing time vs. adhesion in tension of 28-d-cured construction joints treated by method ab.

Treatment method ac:

Polymer emulsion spraying immediately after placing existing concrete (a) and polymer cement paste spraying immediately before placing new concrete (c)

Fig. 6. Jointing time vs. adhesion in tension of 28-d-cured construction joints treated by method ac.

PAE エマルジョンが若材令コンクリートの打継ぎに適していることを示唆するものである。

3・4 打継目の引張接着強度と打継処理方法の関係

Table VI によれば、PAE エマルジョンを用いたコンクリート打継目の材令 28 日における引張接着強度

Treatment method a:

Polymer emulsion spraying immediately after placing existing concrete

Fig. 7. Jointing time vs. adhesion in tension of 28-d-cured construction joints treated by method a.

Treatment method bc:

Polymer emulsion spraying 30 min before placing new concrete (b) and polymer cement paste spraying immediately before placing new concrete (c)

Fig. 8. Jointing time vs. adhesion in tension of 28-d-cured construction joints treated by method bc.

Treatment method b:

Polymer emulsion spraying 30 min before placing new concrete

Fig. 9. Jointing time vs. adhesion in tension of 28-d-cured construction joints treated by method b.

は、打継時間が6および12時間ではbc、18および24時間ではab、36時間ではac、72時間ではabcの打継処理を施したものが、それぞれの打継時間における最大引張接着強度を示している。ここで、最大引張接着強度をもたらししている打継処理方法の多くは、打継コンクリート打込み直前にポリマーセメントペー

ストを散布する打継処理方法(c 処理)を含んでおり、試験後の破壊状況もコンクリートの凝集破壊の割合が多い。ポリマーセメントペーストの下地コンクリート表面への散布は、打継コンクリート中の骨材が下地コンクリート表面へ沈降することによる下地コンクリート表面と打継コンクリート中のセメントペースト分との接触面積の減少を補う働きをするものと考えられる。つまり、下地コンクリート表面では、打継コンクリートのセメント骨材比が減少し、両者の接着に寄与するセメントペースト分の減少が生じるが、ポリマーセメントペーストを下地コンクリート表面へ散布することにより、打継界面で不足するセメント分が補給され、両者が十分に接着することとなる。しかし、SBR および EVA エマルジョンを散布して打継いだコンクリ

ート打継目の引張接着強度においては、ポリマーセメントペースト散布の効果は顕著でない。このことは、ポリマーセメントペーストの散布により、コンクリート打継界面において、上述のような効果が期待できるとしても、下地コンクリート打継面が、ポリマーエマルジョン散布によって適当に強化されている必要があることを示唆するものである。換言すれば、ポリマーセメントペーストの散布は、ポリマーエマルジョン散布打継工法に最も適した PAE エマルジョンの使用において、特に効果を発揮すると推察される。

3・5 打継目の引張接着強度と材令の関係

Fig. 10～Fig. 15 には、ポリマーエマルジョン散布打継工法に適していると判断された PAE エマルジョンを用いて打継いだコンクリートの材令 28 日および

Fig. 10. Jointing time vs. adhesion in tension and failure mode distribution of construction joint treated by method abc with curing period of 28 and 180 days.

Fig. 12. Jointing time vs. adhesion in tension and failure mode distribution of construction joint treated by method ac with curing period of 28 and 180 days.

Fig. 11. Jointing time vs. adhesion in tension and failure mode distribution of construction joint treated by method ab with curing period of 28 and 180 days.

Fig. 13. Jointing time vs. adhesion in tension and failure mode distribution of construction joint treated by method a with curing period of 28 and 180 days.

Fig. 14. Jointing time vs. adhesion and failure mode distribution of construction joint treated by method bc with curing period of 28 and 180 days.

Fig. 15. Jointing time vs. adhesion in tension and failure mode distribution of construction joint treated by method b with curing period of 28 and 180 days.

6箇月（180日）における打継目の引張接着強度と打継時間の関係および引張接着強度試験後の破壊割合を示す。abcおよびac処理したコンクリート打継目の引張接着強度は、いずれの打継時間とした場合でも、材令28日と6箇月でほぼ等しく、引張接着強度試験後の破壊状況もコンクリートの凝集破壊の割合がほぼ同程度である。一方、abcおよびac処理以外の打継処理方法によるコンクリート打継目は、引張接着強度試験後の破壊割合が材令28日と6箇月でそれぞれ異なるものが多いが、引張接着強度は、abおよびbc処理の72時間の測定値を除きほぼ等しい。これより、PAEエマルジョン散布による若材令コンクリート打継工法は、本研究の範囲では、打継時間が36時間以

内であれば、材令6箇月においても打継目の接着強度の低下がなく、安定した打継工法であるといえる。

4 総 括

本論文は、ポリマーエマルジョン散布後に打継いだ若材令コンクリート打継目の引張接着強度に与えるポリマーエマルジョンの種類、コンクリートの打継時間、打継処理方法および材令の影響についてまとめたものである。本研究で得られた結果を要約して以下に示す。

(1) 無処理打継コンクリート打継目の引張接着強度は、打継時間が長くなるにつれて減少し、打継時間が36時間以降では接着性が得られない。

(2) ポリマーエマルジョン散布打継工法を適用した若材令コンクリート打継目の引張接着強度と打継時間の間には、明確な相関関係は認められない。しかし、本工法を適用した場合の各打継時間における打継目の引張接着強度には、ポリマーエマルジョンの成膜状態および膜厚、セメント組織の水和状態などの因子が影響しているものと推察される。

(3) ポリマーエマルジョン散布打継工法を適用した若材令コンクリート打継目は、打継時間および打継処理方法によらず、そのほとんどが無処理打継コンクリートより高い引張接着強度を示す。

(4) 打継目の引張接着強度、破壊割合および長期材令における試験結果から、本研究の限りでは、本工法には、PAEエマルジョンが最も適している。PAEエマルジョンを用いた若材令コンクリート打継目の各打継時間における最大引張接着強度は、その多くが、ポリマーセメントペースト散布処理を含む打継処理方法を適用した場合に得られ、ポリマーセメントペースト散布は、若材令コンクリート打継目の接着強度の向上に大きく寄与している。

(5) 打継時間が36時間以内であれば、材令6箇月においても接着強度の低下のない安定した打継目が得られる。

参 考 文 献

- 1) 森 茂二郎, “実用コンクリート技術 (上)”, p. 244 (1974) 建設技術
- 2) 樋口芝朗, “コンクリート材料・工法ハンドブック”, p. 82 (1986) 建設産業調査会
- 3) 沢出 稔, 特許第1115323号 (初期材令コンクリート類の打継施工法) (1982) など
- 4) 沢出 稔, セメントコンクリート論文集, 43, 610 (1989).
- 5) M. Sawaide, Proceedings of the 32nd Japan Congress Materials Research, Japan, p. 224 (1989).
- 6) 十代田知三, 日本建築学会論文報告集, 230, 1 (1975).