

(29) 鋼・コンクリート合成構造界面の付着および防食性能向上に関する研究

An Experimental Study on Adhesion and Coating Boundary Performance for Steel-Concrete Composite Structure

大垣賀津雄*, 済藤英明**, 矢野裕也***, 宮本裕久****

Kazuo Ohgaki, Hideaki Saitou, Hiroya Yano, Hirohisa Miyamoto

* 工博 川崎重工業(株) 鉄構BC 技術総括部 橋梁・水門技術部 (〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島8)

** 川崎重工業(株) 鉄構BC 技術総括部 橋梁・水門技術部 (〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島8)

*** アスク・サンシンエンジニアリング(株) 技術部 (〒230-0051 横浜市鶴見区鶴見中央2-5-5)

**** アスク・サンシンエンジニアリング(株) プラント工務部 (〒230-0051 横浜市鶴見区鶴見中央2-5-5)

Recently, it is adopted steel-concrete composite slabs in each related place. As for long-term durability of such composite structure, prevention of rust performance improvement of the bottom steel plates isn't acceptable. More, the adhesion performance of the steel-concrete boundary surface, it is effective to improvement.

Authors propose the new method, is coating mortars with gum-latex in the steel plate of steel-concrete composite structure. In this paper, about coating mortars with gum-latex, the general characteristic explains for the excellent adhesion, resistance to impact, deformation performance, resistance to abrasion and waterproofing. And, it was investigated adhesion characteristic by the fatigue tests. Furthermore, there is proved about the application method for coating mortars with gum-latex to the composite slabs.

Key Words : Composite structure, Coating mortars with gum-latex, Fatigue tests

1. まえがき

近年、鋼・コンクリート合成床版が関係各所で採用されている。このような合成構造の長期耐久性には、底鋼板の防食性能向上が不可欠であると考えられる。また、鋼・コンクリート合成構造接合部界面の付着性能を向上させることが有効であると考えられる。

筆者らは、ゴムの特性を生かした画期的な接着増強剤(以下、ゴムラテックスと呼ぶ)を添加したモルタルを鋼板に吹き付けし、その後にコンクリートを打設する工法を提案するものである。本文では、まず、ゴムラテックスを添加したモルタルについて、その一般性状および標準配合を紹介する。提案するモルタルの圧縮強度、接着力、耐衝撃性、曲げ変形性能、耐摩耗性、防水性など基本特性に着目し、高い性能を有することを証明する。また、鋼板が繰返し応力を受ける状況を想定した疲労試験を実施し、モルタル付着特性がよく、鋼・コンクリート界面の疲労耐久性が高いこと示すものである。さらに、合成床版への施工性能試験の状況を提示し、実橋の合成床版への適用事例を含めて紹介するものである。

2. ゴムラテックスを添加したモルタルの特長

2.1 材料の成分と配合

(1) 一般性状

本文で紹介するゴムラテックスとは、スチレンブタジエンゴム(SBR)をベースにした、セメントモルタル混和用乳剤である。水で希釈でき、セメントペーストまたはモルタル混練時に水と混和するタイプの接着増強剤である。

表-1 ゴムラテックスの一般性状

外 観	乳 白 色
全 固 形 分 (%)	45.0±1.0%
P H	9±1
粘 度 (20℃)	200mPa・s以下
見 かけ 比 重	1.00±0.05

(2) 標準配合

ゴムラテックスを添加したモルタルは、これまで屋内外を問わず数多くの建造物に採用されている。その用途は、内外装タイルの接着材、作業通路や道路などの舗装材、屋上や貯水タンクなどの防水材などである。ゴムラテックスを添加したモルタルについて、これらの用途別の標準配合を表-2に示す。

表-2 用途別標準配合

用途	標準配合 (重量比)				施工厚 mm
	セメント	砂	ゴムラテックス	水	
接着材	1	1~2	0.2~0.3	適 量	3~5
舗装材1	1	3	0.2	(ただし、 できるだけ 硬めに 調整)	5~20
舗装材2	1	3	0.3		10~15
防水材	1	2~3	0.2~0.3		5~10
防錆材	1	1.5	0.35		3~5

接着材:コンクリートとモルタルの打継ぎ、内外装タイルの貼付け。
舗装材1:重量車を使用しない倉庫、店舗、事務所、トイレの床。
舗装材2:重量車を使用する倉庫、階段、機械油の多い床、ガレージ、プラットフォーム、道路。

防水材:コンクリート屋上、コンクリート壁体、貯水タンク、プー

ル、し尿消化槽、工場床、廃液ピット。
防錆材：鋼・コンクリート合成構造界面の鋼板処理

(3) まだ固まらない状態での性質

ゴムラテックスを添加したモルタルはポリマーセメントモルタルの一種であり、一定のスランプフロー値を得るのに要する水セメント比が普通セメントモルタルに比べて6割程度に減少させることができる。すなわち、ゴムラテックスは、他に類を見ない強力な減水剤としての効果がある。ただし、同一フロー値の普通モルタルに比べて粘性が強く、ワーカビリティがやや劣ることもあるが、吹付けや刷毛塗り施工が可能である。

さらに、普通モルタルに比べて保水性がよく、乾燥し難いという性質を持つので、型枠などに水分を吸収されることも少なく、その結果、セメントの硬化も進むことが、一つの特長になっている。

(4) 養生方法

ゴムラテックスを添加したモルタルの硬化後の性質は、養生方法により著しく影響を受ける。その影響は、一般のセメントモルタルの場合と異なっている。すなわち、普通のセメントモルタルは、水中あるいは湿潤状態で養生して高強度を発現するが、ゴムラテックスを添加したポリマーセメントモルタルでは、最初に湿潤状態で養生した後、乾燥させることにより最高の強度を発現するものである²⁾。

2.2 硬化後の基本特性

(1) 圧縮強度

1バッチの配合が、セメント400g、豊浦砂1,200g、ゴムラテックス89.1g、水100gのモルタル供試体について、圧縮強度(材令28日)試験を行った。その結果、平均圧縮強度は34.9N/mm²であり、普通モルタル以上の十分な強度を発現することを確認している。

そこで、水とゴムラテックスの配合比を変数とした各種供試体を準備し、同様の圧縮強度試験を行った。普通モルタルに対する各配合供試体の強度を表-3に示す。同表より、ゴムラテックスを増加させると圧縮強度が大きくなり、50%配合前後で約2倍以上に達している。ただし、それ以上混入すると強度低下する傾向にあることがわかる。

表-3 圧縮強度の比較

項目	水(%)	ゴムラテックス(%)	圧縮強度比
普通モルタル	100	0	100
ゴムラテックス 添加モルタル	75	25	158
	62	38	178
	50	50	203
	37	63	177

(2) 接着力

ゴムラテックスを添加したセメントもしくはモルタルは、

エポキシ樹脂系の接着材とは異なり、施工面が湿っている場合でも常温で硬化して強力な接着力を発揮する。コンクリート、モルタルはもとより鋼板や木材にもよく接着する。

水とゴムラテックスの配合比を変化させて、ブリケット打継ぎ供試体の引張り試験を実施した。その結果を表-4に示す。同表より、普通モルタル(接着強度0.37N/mm²)の約5倍の引張接着強度を有していることがわかる。

表-4 引張接着強度の比較

項目	水(%)	ゴムラテックス(%)	接着強度比
普通モルタル	100	0	100
ゴムラテックス 添加モルタル	75	25	521
	62	38	518
	50	50	584

(3) 耐衝撃性

ゴムラテックスを添加したモルタルは、普通モルタルに比べて弾性に富み、重量や圧力の吸収度が大きく、耐衝撃性が高い特性がある。

水とゴムラテックスの配合比を変数とした各種供試体を準備し、耐衝撃性を調査するため、67g鋼球落下による衝撃吸収度試験を実施した。普通モルタルの破壊時の落下高さを100とした場合の各配合供試体の指数を表-5に示す。同表より、ゴムラテックスの比率を増やすと、衝撃吸収性能が向上していくことがわかる。

表-5 耐衝撃性能の比較

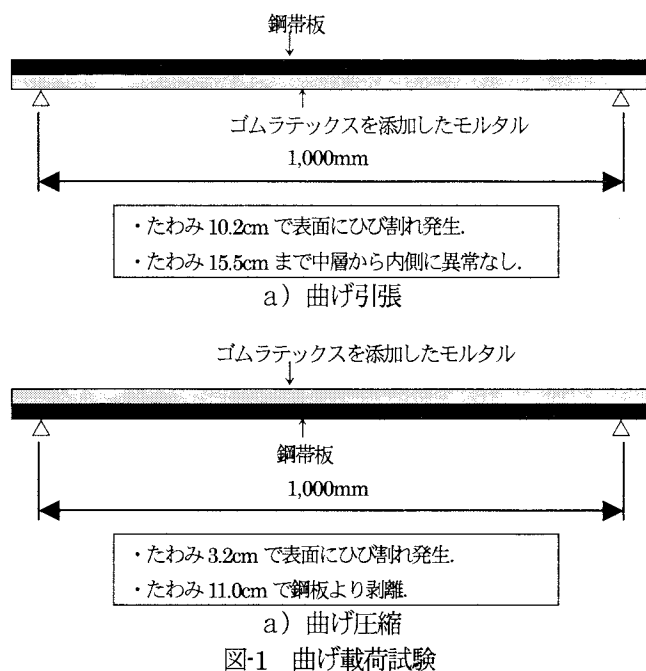
項目	水(%)	ゴムラテックス(%)	破壊時落下高さ(cm)	指数
普通モルタル	100	0	30	100
ゴムラテックス 添加モルタル	75	25	55	183
	62	38	100	333
	50	50	210	700

(4) 曲げ変形性能

ゴムラテックスを添加したモルタルは、普通モルタルに比べてゴム混入の特性を発揮し、振動やひずみの大きい鋼材などにも剥がれず追従性がある。

先の(1)節の圧縮強度試験供試体と同じ配合供試体で曲げ試験を実施した。その結果、曲げ強度は10.3N/mm²であり、普通モルタルの3倍強の曲げ強度を有していることを確認した。

表面処理していない酸化皮膜(黒皮)状態の鋼帯板に、ゴムラテックスを添加したモルタルを約1cm吹き付けた供試体を製作した。その供試体を図-1に示すように支間長1mで支持し、鋼板の塑性領域まで変形させモルタルに変状が生じるまで載荷した。図-1に示すとおり、大変形状態まで、ゴムラテックスを添加したモルタルは高い追従性を有することを確認した。



(5) 耐摩耗性

交通量の多い道路や重量物が移動する倉庫などにもゴムラテックスを混入したモルタルはひび割れが生じず、水の侵入も防ぐことができることから、耐摩耗性が高く耐久性に優れた舗装材として使用可能である。

水とゴムラテックスの配合比を変化させて、テーパー試験機による摩擦輪 1,000 回走行あたりの試料の摩擦損失量（テーパー指数）を調査した。その結果を表-6 に示す。同表より、ゴムラテックスを添加したモルタルは普通モルタルに比して 3% 程度しか摩擦しておらず、高い耐摩耗性と防塵効果があるといえる。

表-6 耐摩耗性の比較

項目	水(%)	ゴムラテックス (%)	テーパー指数(mg)	指数
普通モルタル	100	0	13437	100
ゴムラテックス添加モルタル	75	25	419	3
	62	38	334	3
	50	50	454	4

(6) 防水性

ゴムラテックスはモルタル内部の空隙を固形ゴムによって充填して水の侵入を防止し、優れた防水性を発揮する。したがって、鋼板の塗装に変わる防錆材としても使用可能と考えられる。

水とゴムラテックスの配合比を変化させて、透水試験 (JISA1404) を実施した。その結果を表-7 に示す。同表より、普通モルタルよりかなり高い止水性能を有していることがわかる。ゴムラテックスを 50% 用いた場合は透水量がゼロになる。上述のとおり、耐摩耗性が高く、付着強度も十分あるので道路橋床版コンクリートの上面に施工する防水工材料としても適している。

表-7 透水量の比較

項目	水(%)	ゴムラテックス (%)	透水量 (g)	指数
普通モルタル	100	0	17	1
ゴムラテックス添加モルタル	75	25	2	0.12
	62	38	1	0.06
	50	50	0	0

3. 疲労試験および曲げ引張強度試験

3.1 疲労試験

(1) 試験目的

例えば、合成床版底鋼板の水分による鋼板腐食の防止を目的として、塗装の代わりに底鋼板上面のコンクリートとの界面にゴムラテックスを添加したモルタルを吹き付ける構造を検討する。このように、ゴムラテックスを添加したモルタルを合成床版の底鋼板に施工した場合、道路橋床版のような繰返し荷重作用下での付着性に関しては、実験データがほとんどないというのが現状である。

この接着性モルタルを吹き付けた鋼板に繰返し引張荷重を与える疲労試験を実施し、試験中に一定の確認時期を設けて、ひび割れ等変状が生じていないかを確認した。

(2) 試験供試体

試験供試体は、図-2 に示すように、合成床版の底鋼板厚と同等の 6mm の鋼板とし、鋼板部に塗布する材料をパラメータとする。供試体一覧を表-8 に示す。また施工するモルタルの配合について表-9 に示す。

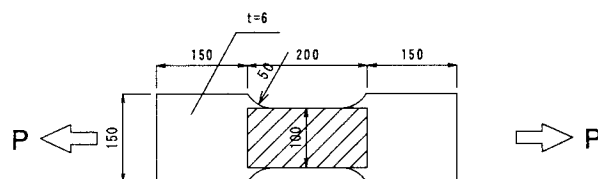


図-2 疲労試験供試体

表-8 供試体の表面処理

供試体	塗布材料	鋼材表面	鋼材裏面	応力振幅 (N/mm ²)
A	ゴムラテックス	有機ジンク	I 塗装系	120
B	添加モルタル		有機ジンク	140
C	普通モルタル			120
D	ゴムラテックス添加モルタル	黒皮	黒皮	

注) モルタルは全て鋼材表面に塗布

表-9 供試体モルタルの配合

供試体	配合			備考
	セメント	砂	ゴムテックス	
A,B,D	1	1.5	0.35	水なし
C	1	2	—	W/C=45%

(3) 試験方法

载荷は、実験供試体端部のチャック部を掴み、一軸に繰返し荷重を与えるものとする。载荷荷重は、モルタルを塗布している鋼板断面に 120N/mm^2 の応力が発生するような荷重とする($P=120 \times 100 \times 6=72\text{kN}$, ひずみ 600μ)。また繰返し回数は、200 万回とする。

载荷荷重は、鋼材裏面にひずみゲージを 1 枚貼り付け、ひずみ値により確認する。疲労実験状況を図-3 に示す。

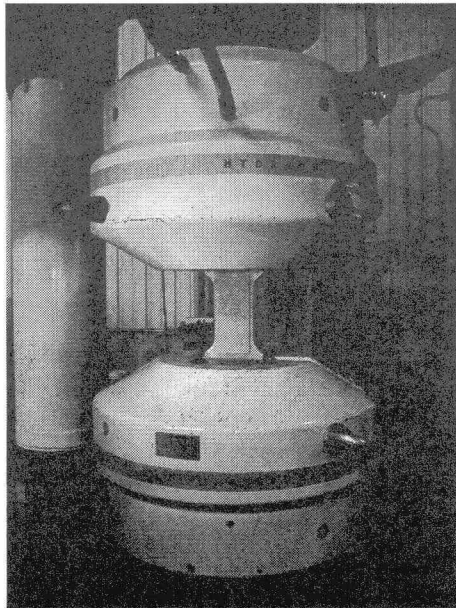


図-3 疲労試験状況

(4) 試験結果

実験中および実験終了後に付着性確認を行った。実験中の確認時期は、繰返し回数 1 回, 5000 回, 1 万回, 5 万回, 10 万回, 25 万回, 50 万回, 100 万回, 150 万回, 200 万回終了後とする。確認方法は、载荷時と除荷時にひび割れの確認およびスケッチを行った。

本疲労試験の結果、A～D いずれの供試体でも 200 万回終了後においてひび割れは一切生じなかった。

3.2 曲げ引張試験

(1) 試験要領

疲労試験 200 万回終了後、剥離が見られなかったため、曲げ試験を行うこととした。供試体 A～D すべて試験要領は図-4 に示すとおり 400mm の支間で 2 点支持し、中央にて 1 点载荷を行った。

(2) 試験結果

試験载荷状況は図-5 に示すとおりである。同図 b) に示すとおり、ゴムラテックスを添加したモルタルを施工した供試体 A,B,D すべては、50mm のたわみを生じさせてもモルタルが剥がれなかった。一方、同図 c) に示すとおり、普通モルタルを用いた供試体 C は、3.5mm のたわみでモルタル全体が剥がれた。

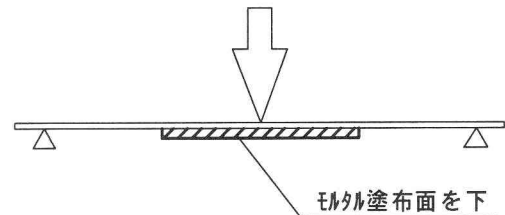
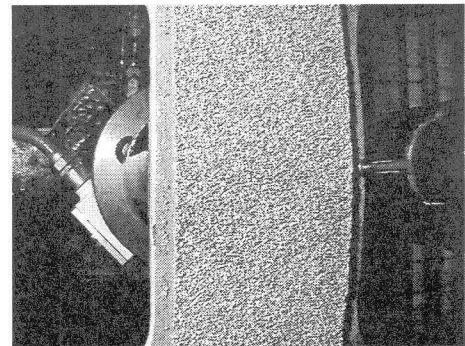
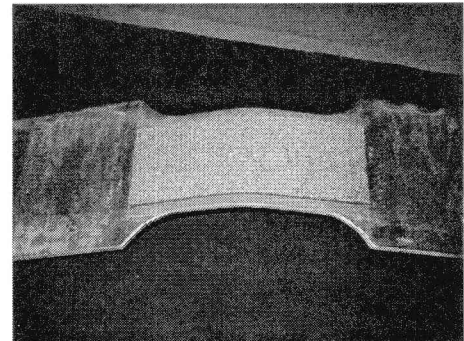


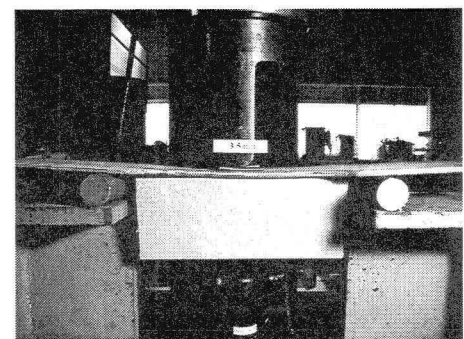
図-4 曲げ試験要領



a) TYPE-A 試験中



b) TYPE-A 試験後



c) TYPE-C 試験後

図-5 曲げ試験状況

4. 合成床版への適用

4.1 施工法確認試験

(1) 試験供試体

合成床版の底鋼板を対象に、ゴムラテックスを添加したモルタルの吹き付け施工確認試験を実施した。試験供試体は図-6 に示すとおり、実物サイズのトラス型ジベルを有する合成床版である。合成床版の施工試験供試体は垂鉛メッキを施した状態であり、比較的滑りやすい状態である。

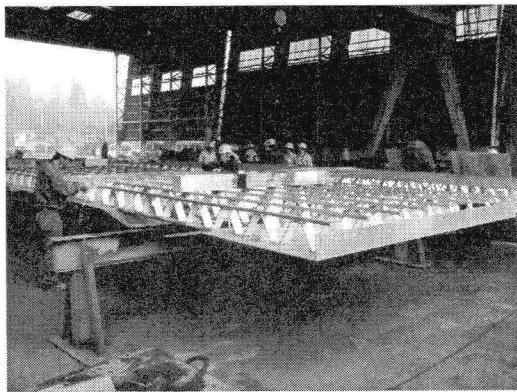


図-6 施工試験供試体

(2) 施工試験の状況と結果

ゴムラテックスを添加したモルタルの吹き付け施工試験の状況を図-7 に示す。同図 b) に示すとおり、施工後はこのモルタルが底鋼板をコーティングしている状況がわかる。本試験体は施工後約1年間、コンクリートを打設せずに屋外設置していたが、特にモルタルが剥がれるなどの変状は見られず、紫外線の影響などを受けても安定した性能を発揮することを確認した。

(3) 工場施工上の留意点

工場施工における留意点は以下の通りである。

- ① 吹き付け時にモルタル中の細骨材が飛び散る可能性があるため、周辺への養生が必要である。
- ② 現場添接部はマスキング養生する必要がある。

4.2 現地施工

(1) 現地施工状況

合成床版を有する橋梁において、現地施工を実施した。施工状況は図-8 に示すとおりである。

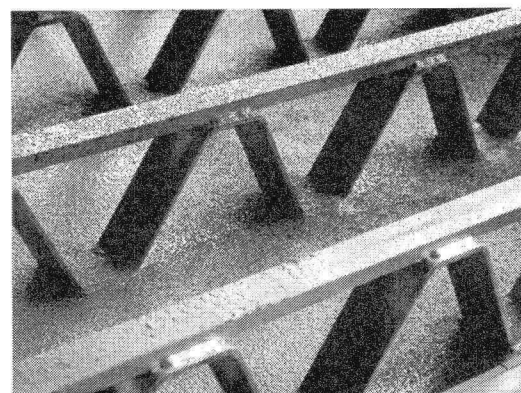
(2) 現地施工上の留意点

現地施工における留意点は以下の通りである。

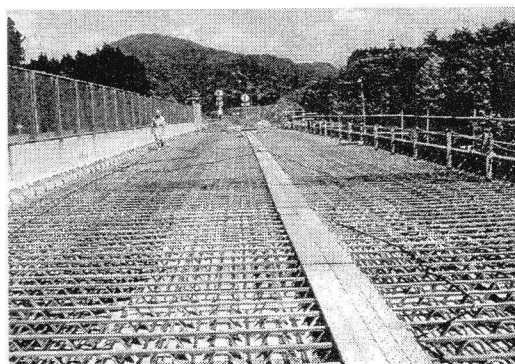
- ① 合成床版パネル間の添接部分の接合完了後、モルタルを吹き付ける。
- ② 合成床版上の鉄筋の配置を行う前に吹き付けしないと作業性が悪い。しかしながら、下鉄筋は事前に工場で挿入しているため、いずれにしても作業性はよくないと考えられる。



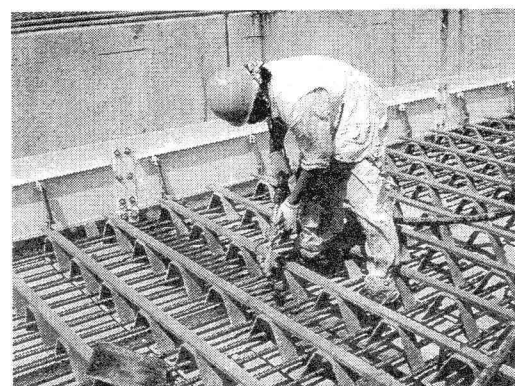
a) 施工試験状況



b) 施工試験完了状況詳細
図-7 吹き付け施工試験



a) 施工現地全景



b) 現地施工状況

図-8 現地施工状況

5. まとめ

以上、本文では、ゴムラテックスを添加したモルタルを鋼板表面に吹き付けした、鋼・コンクリート合成構造について紹介した。また、ゴムラテックスを添加したモルタルの一般性状および標準配合を紹介した。そして、本モルタルは、高い圧縮強度特性、優れた接着力、高い耐衝撃性、高い曲げ変形性能、高い耐摩耗性、優れた防水性など基本特性を提示した。

また、鋼板が繰返し応力を受ける状況を想定した疲労試験を実施し、ゴムラテックスを添加したモルタルの付着特性がよいことを示した。また疲労試験終了後に曲げ引張試験を実施したが、本モルタルの付着性能は高く、合成構造界面の防錆材として有効であることを証明した。

最後に、合成床版への施工確認試験の状況および現地施工状況を提示し、実構造物への適用性が高いことを述べた。

ゴムラテックスを添加したモルタルは、鋼・コンクリート合成構造界面の鋼部材防錆処理コーティングに適用すること提案した。その現地施工事例については、合成床版の底鋼板上面に施工することを本文で紹介した。しかしなが

ら、今後は、このような使用方法以外に、以下のような合成構造にも適用することが考えられる。

- ① 合成桁の上フランジ上面
- ② 合成床版橋のコンクリートとの界面
- ③ 合成ケーソン
- ④ 合成沈埋函
- ⑤ 合成ポンツーン

最後に、本研究を遂行するに際して、アスクサンエンジニアリング(株)三和元成氏に種々ご指導頂きました。ここに感謝致します。

【参考文献】

- 1) 森, 河野, 大浜, 国次, 沖倉: 小野田研究報告書, Vol.23, pp.232~245, 1961
- 2) 河野: ポリマーセメントモルタルおよびコンクリートの特性, コンクリート・ジャーナル, Vol.11, NO.4, pp.18~26, 1973