

薄層モルタルを用いた道路橋の耐震補強工法

日本道路公団 試験研究所 木村 均
ハザマ技術研究所 ○山下英俊

1. はじめに

本補強工事は、**図-1**に示す東名・横浜青葉インターチェンジ工事の一部として鶴見川橋の橋脚段落し部に実施したもので、RC巻立て工法に準じる薄層モルタル工法を初めて採用した。日本道路公団では、耐震補強工法は原則としてRC巻立て工法を採用することとしているが、本対象橋脚が河川内に位置することから、河積阻害率の関係で断面の増加の少ない炭素繊維シート巻立て工法を当初は予定していた。しかし、洪水時の濁流や流木等による炭素繊維シートの損傷が考えられるため、RC巻立て工法に準じる薄層モルタル工法の採用を検討した。この薄層モルタル工法は、モルタル厚さがRC巻立て工法に比べ小さくすることができるものの、段落し部への適用例はなく、鉄筋の定着長、かぶり等の検討が必要であった。

本報告では、薄層モルタル工法の概要、採用に当たって実施した確認試験および今後の適用性について述べる。

2. 工事概要

補強対象である東名鶴見川橋中間可動橋脚は、**写真-1**に示す高さ12.7m、橋軸幅1.8m、直角幅15mの小判型壁式橋脚2基であり、河川内に位置する。耐震補強の検討は、**図-2**に示す全体フローに従って行い、その結果、耐震補強は、段落し部の補強が必要であることが判った。一般的に、段落し部の補強は、RC巻立て工法、鋼板巻立て工法および炭素繊維巻立て工法より、設計、施工の制約条件などを考慮して選定される。本橋脚は前述のとおり、河川内に位置するため、河積阻害率から断面の増加の大きいRC巻立て工法と、メンテナンスの関係から定期的な防錆塗装が必要な鋼板巻立て工法は除外され、炭素繊維巻立て工法が選定された。しかし、河川内であり、洪水時の濁流や流木等による炭素繊維シートの損傷を考慮する必要があった。そこで、RC巻立て工法に準じ、モルタル厚さが50~60mmと断面の増加の少ない薄層モルタル工法の検討を行った。検討は、(1)不足曲げモーメント(ΔM)の算定、(2)軸方向鉄筋の必要定着長に関する検討、

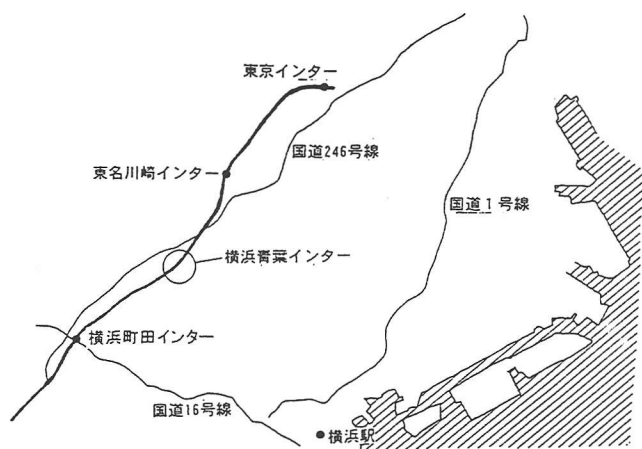


図-1 補強工事位置図

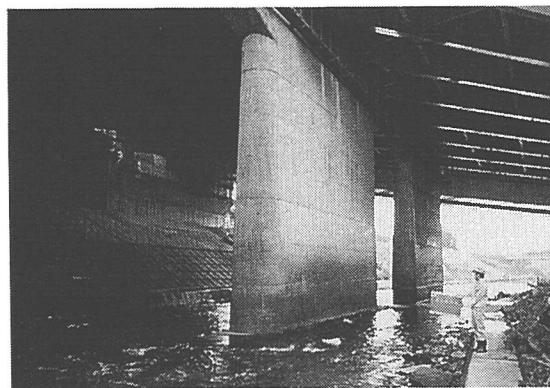


写真-1 東名鶴見川橋脚

キーワード：耐震補強、段落し部、薄層モルタル、道路橋

連絡先 : 〒194-8508 町田市忠生 1-4-1 TEL.0427-91-1621 FAX.0427-92-8650
〒305-0822 つくば市荻間字西向 515-1 TEL.0298-58-8814 FAX.0298-58-8819

(3)帯鉄筋量に関する検討、(4)かぶりの検討の4つの項目について行った。なお、既設橋脚と薄層モルタルの接着力の検討および薄層モルタルによる補強部の曲げ抵抗の検討も行った。

3. 薄層モルタル工法の概要

3.1 薄層モルタルの特徴

本薄層モルタルは、ポルトランドセメント、粒度調整した珪砂、膨張材料、プラスチック系短繊維、鉱物質微粉末、減水剤などを材料としており、既設橋脚と補強鉄筋の間に充分充填され、補強鉄筋を覆うことにより、鉄筋による補強効果を発揮させるとともに、鉄筋の腐食を防止する目的で使用する。この薄層モルタルの代表的な品質を表-1に示すが、上記目的を満足するためには、特に耐久性に関する項目が重要となる。

鉄筋腐食を抑制する性能としての中性化深さ試験¹⁾では、対比した普通モルタル(W/C=32%、スランブ12cm)の3%以下とほとんど0に近い値となっている。また、塩化物イオン浸透試験では、対比したAEコンクリート(W/C=50%、スランブ8cm)の1/4~1/10以下であり、凍結融解試験でも同等以上の性能を有している。また、乾燥収縮量は材齢28日で0.04%以下ときわめて小さな結果であった。以上の試験結果から耐久性の面から言えば、本薄層モルタルは、鋼材に対するかぶりを2cm以上とすることで、通常のコンクリートと同等以上の防錆効果を有すると言える(通常コンクリートの5倍程度の耐久性を有することとひび割れが発生しにくいことより)。

3.2 薄層モルタル工法の特徴

本薄層モルタル工法は、既設橋脚に必要な量の補強鉄筋を設置し、特殊なモルタルを吹き付けることにより一体化するもので、構造としては、**図-3**に示すとおりきわめて単純であり、RC巻立て工法に準じるものである。本工法の特徴を設計、施工面で整理すると、以下のとおりである。

- ①補強目的に応じて、補強鉄筋量(鉄筋の強度、径、間隔)の調整が可能である。
- ②セメント系材料による耐久的な被覆材(薄層モルタル)で補強鉄筋を保護するため、腐食、火災、衝突などの耐久性に富む。
- ③軽量な材料を使用するため、施工用重機が不要である。
- ④プレミックスタイプの材料を使用するた

表-1 薄層モルタルの規格値

項目	試験条件	規格
圧縮強度	20 ± 3 °C	24N / mm ² 以上 (材齢 28 日)
接着強度	常温、湿潤、温冷繰返し	1.5N / mm ² 以上 (材齢 28 日)
固化時間	20 ± 3 °C	1 時間以上
乾燥収縮	20 ± 3 °C、65 ± 5 % RH	500 μ 以下
ダレ性	20 ± 3 °C、65 ± 5 % RH	なし

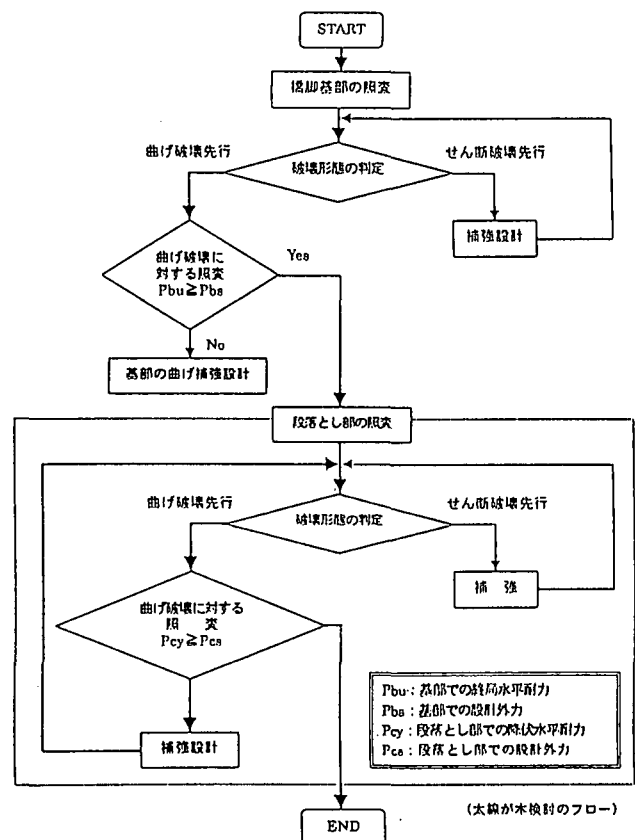


図-2 橋脚耐震補強全体フロー

め、容易に安定した品質の薄層モルタルを製造できる。

⑤モルタル表面をコテ仕上げするため、美観上優れている。

4. 薄層モルタル工法の性能確認試験

前述のとおり、補強鉄筋がその効果を確実に発揮するために、既設柱とモルタルの接着力ならびに軸方向鉄筋の定着長、配力鉄筋量およびモルタルの必要かぶりに関する設計値を設定する必要がある。これらを明らかにするために設計・施工に先立ち、室内実験を通してその性能を確認した（図-4参照）。

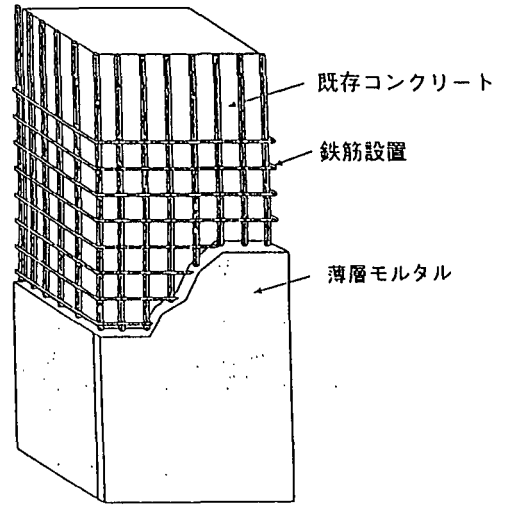


図-3 薄層モルタル工法概念図

4.1 実験内容

(1) 接着試験

接着試験は、既設柱コンクリートとモルタルとの接着性を確認するために、建研式の接着強さ試験に準拠して実施した。コンクリート表面は、サンドブラスト処理の有無の2ケースとした。

(2) 付着試験

付着試験は、軸方向鉄筋を配置し薄層モルタルで一体化させた試験体に引張力を作用させた場合、コンクリートとモルタルの接着力、モルタルと鉄筋の付着強度および軸方向鉄筋の付着割裂強度を確認することを目的として実施した。試験体の形状・寸法は図-5に示すとおり、実構造物の2/3モデルとし、軸方向鉄筋、配力鉄筋ともD13を使用した。試験は、付着定着長 L_a 、配力鉄筋からの純かぶり C 、配力鉄筋間隔 l_a をパラメータとした。

(3) 梁試験

補強部の付着性能、補強効果を確認するために、実橋を模擬した梁試験を実施した。試験体の寸法は図-6に示すように、幅40cm、高さ30cm、長さ300cmとし、梁の段落としが有る場合と無い場合の無補強試験体と、段落し部を薄層モルタルで補強した試験体を用いた。補強レベルは、付着試験の結果から、軸方向鉄筋の定着長、配力鉄筋量およびかぶりを決定した。

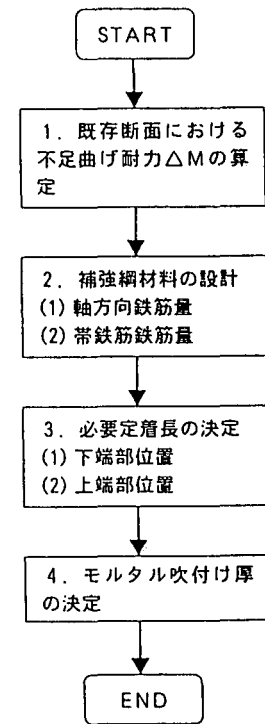


図-4 薄層モルタル補強工法による段落し部の設計フロー

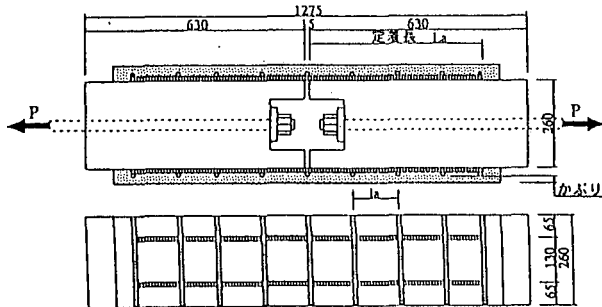


図-5 付着試験体形状・寸法図

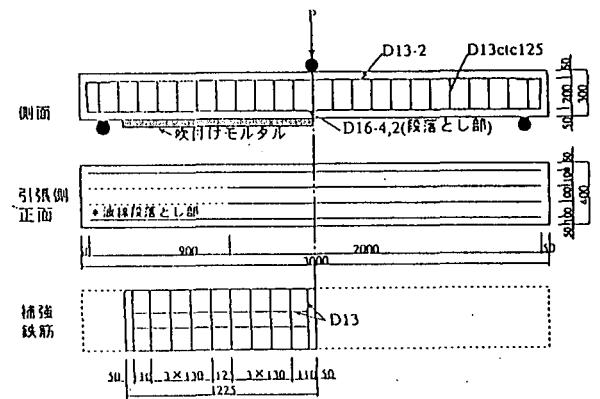



図-6 梁試験体形状・寸法図

表-2 接着試験結果一覧

ケース		接着力 N/mm^2				
		1	2	3	4	5
1	サンドブラスト：あり	3.19	2.81	3.13	2.88	2.88
		平均 2.98				
2	サンドブラスト：なし	2.19	2.25	2.06	2.56	2.31
		平均 2.28				

表-3 付着試験結果一覧

ケース	定着長 L_a (cm)	かぶり 1D13mm	帯筋間隔 l_a (cm)	試験 パラメータ	最大引張 荷重 (N)	破壊形態
1	50	1.5D	なし	④	2.28	A
2	30	1.5D	13	②	1.78	B
3	40	1.5D	13	②	2.15	B
4	50	1.5D	13	①	2.54	C
5	60	1.5D	13	②	2.54	C
6	50	1.5D	6.5	④	2.53	C
7	50	1D	13	③	2.53	C
8	50	2D	13	③	2.53	C

*軸方向鉄筋の設計降伏荷重：17.5tf ：検討するパラメータ

<試験パラメータ>①基本ケース、②定着長の検討、③かぶりの検討、④配力筋の検討

<破壊形態>A：モルタル付着割裂、B：軸方向鉄筋抜出し、C：軸方向鉄筋破断

4. 2 実験結果

(1) 接着試験

接着試験結果を表-2に示す。既設コンクリートとモルタルの接着力は、全ての試験において $2N/mm^2$ 以上の接着力を確保している。ただし、サンドブラスト処理したケースは、処理をおこなわないケースよりも30%程度接着力の増加が認められ、すべて $2.8N/mm^2$ 以上を示した。今回実施する段落とし補強のように、構造上より既設コンクリートとモルタルの接着力が要求される場合には、コンクリート表面をサンドブラスト処理することが望ましい。

(2) 付着試験

本実験の破壊形態は、既設コンクリートとモルタルの接着破壊、モルタルと鉄筋の付着破壊、軸方向鉄筋の付着割裂破壊および鉄筋降伏（破断）が考えられる。表-3に付着試験結果を示すが、全てのケースで鉄筋の降伏を確認することができた。しかし、定着長の検討では、図-7に垂直方向の変位と荷重の関係で示すとおり、定着長 L_a が30cm、40cmの場合の最終破壊形態は、軸方向鉄筋の抜け出しで鉄筋破断まで至らなかった。配力鉄筋の検討では、図-8に荷重と軸方向鉄筋直角方向のコンクリート表面のひずみの関係で示すとおり、配力鉄筋が無い場合、モルタルの付着割裂と思われるひずみが確認された。また、かぶりをパラメータとした場合は、すべて鉄筋破断により破壊した。以上の試験結果から次に示す数値を設計値とすることとした。

①軸方向鉄筋定着長：40D(50cm)以上

②配力鉄筋量：補強軸方向鉄筋と同量以上

③かぶり：1D以上

なお、構造上の最低かぶりについては、国内規格は見当たらないが、DIN1045には、鉄筋径による最低かぶりを規定しており、鉄筋径が14～18mmではかぶり15mm、20～22mmまでは20mmとしている。今回の試験では、D13の鉄筋を、実橋脚の補強でもD16の使用となっているため、最小かぶりは15mmとなる。しかしながら、実施工においては、鉄筋腐食を防止するための中性化深さ試験などの結果や現場での施工精度を考慮し、最小かぶりは20mmとした。

(3) 梁試験

梁試験結果を表-4に示す。段落としがある無補強のNo.1試験体では、段落し部から発生したひび割れが加力点方向に進展して破壊したのに対し、段落し部を補強したNo.3試験体では、段落としないNo.2試験体に準じた破壊状況となった。図-9に最大荷重時の変位分布を示すが、明らかにNo.1試験体の変位が、No.2、No.3よりも大きくなっている。これらのことより、補強効果を十分有することが確認できた。

5. 実橋への適用

東名鶴見川橋の補強範囲を図-10に示す。また、補強仕様を表-5に示す。ここで示す設計値は前述の薄層モルタルの品質と室内実験の結果から決定した。施工に当たっては、表-6に示す施工条件と表-7に示す品質管理項目に従って行うこととした。施工条件は、鉄筋溶接工については温度と風による対策が、モルタル吹付け工においては温度制限を設定している。また、品質管理項目は、それぞれの工種別に確認する必要がある。特に、モルタル吹付け工に関しては、構造物の耐久性の点から、スランプ、圧縮強度および鉄筋かぶりについて注意が必要である。薄層モルタル工の作業手順を示す。

- ①準備工：河川締切り、足場工、橋脚面寸法の測定および鉄筋加工、ガイドの発注
- ②表面処理：既設橋脚のコンクリート表面サンドブラスト処理
- ③鉄筋設置用ガイドの取付け：橋脚面に軸方向鉄筋・配力鉄筋を設置するためのガイドの設置
- ④鉄筋の設置：軸方向鉄筋を配置後、配力鉄筋をフレア溶接にて固定（写真-2）
- ⑤薄層モルタル厚さ管理用ガイドの設置：薄層モルタルの厚さを管理するためのガイドの設置

表-4 梁試験結果

試験体	仕 様	最大変位
No.1	段落とし有、無補強	28 cm
No.2	段落とし無、無補強	20 cm
No.3	段落とし有、補強有	20 cm

表-5 補強仕様

項 目	仕 様
軸方向鉄筋	D16@200 158本/基
配力鉄筋	D13@125 66本/基
鉄筋継手方法	フレア溶接 396ヶ所/基
モルタル厚さ	54 mm 14.2 m ³ /基
鉄筋かぶり	20 mm

表-6 施工条件

	項 目	条 件	備考
鉄筋設置工	天 候	特になし	
	温 度	特になし	
	湿 度	特になし	
鉄筋溶接工	天 候	降雨時は作業中止	1)
	温 度	0℃以下は中止 (予熱すれば施工可)	1)
	湿 度	特になし	
	風	風速 10m/sec 以上は中止 (防風処理を行えば施工可)	1)
モルタル吹付け工	天 候	特になし、上部工の排水処理必要	
	温 度	5～35℃	2)
	湿 度	特になし	
	吐出力	0.3～0.6 m ³ /h、 吐出圧 0.7N/mm ² 以下	
	養生方法 期 間	シートで全面を覆う (足場の外側) 2日程度(常温にて)	

1)鉄筋フレア溶接継手設計施工指針（道路公団）に従う。

2)5℃以下は寒冷地養生を行う。

- ⑥シーラ塗布：既設橋脚への水分の吸収防止および薄層モルタルの接着力の向上
- ⑦モルタルの吹付け（1～3層目）：1層目は軸方向鉄筋が、2層目は配力鉄筋が隠れる程度まで、3層目は設計吹付け厚まで吹付け（写真-3）
- ⑧粗均し：1，2層目の吹付け後、モルタルの充填性を確保するための粗均し
- ⑨金ゴテ仕上げ：コテ仕上げは3回を原則（写真-4）
- ⑩シート養生：初期乾燥を防ぐためのシート養生
- ⑪目地処理工：モルタル厚さ管理用ガイドに設置した目地材の撤去とモルタルの跡詰め
- ⑫養生剤塗布：乾燥や日射による初期ひび割れ防止のための塗布
- ⑬後処理工：足場解体、復旧。なお、モルタルの品質管理結果は、図-11に示すとおり練混ぜ水の温度を調整することで、モルタルのスランプはほぼ一定することが確認できた。

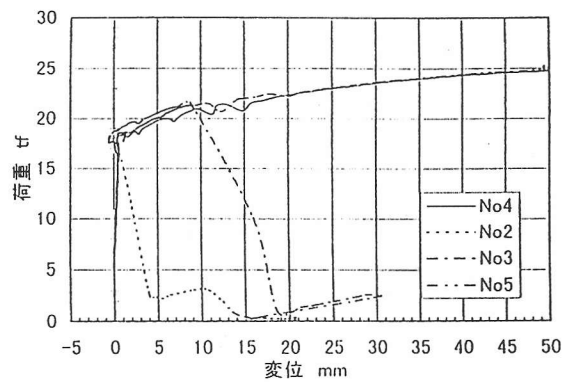


図-7 定着長の違いによる変位と荷重の関係

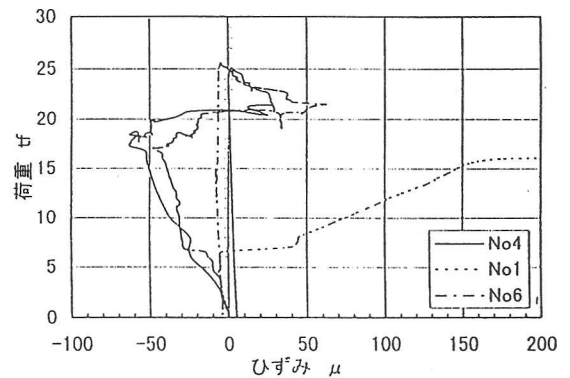


図-8 配力筋間隔の違いによるひずみと荷重の関係



写真-2 鉄筋設置状況

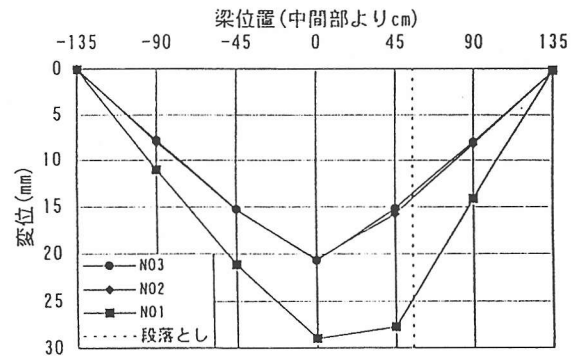


図-9 最大荷重時の変位分布

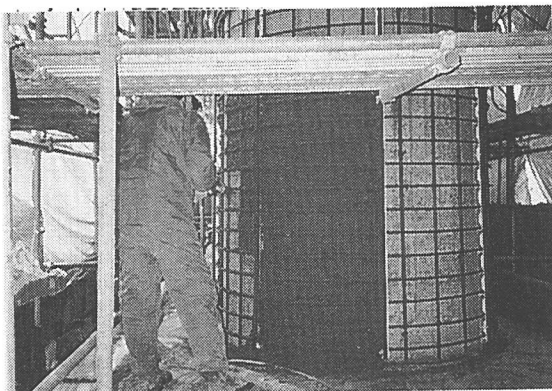


写真-3 モルタル吹付け状況

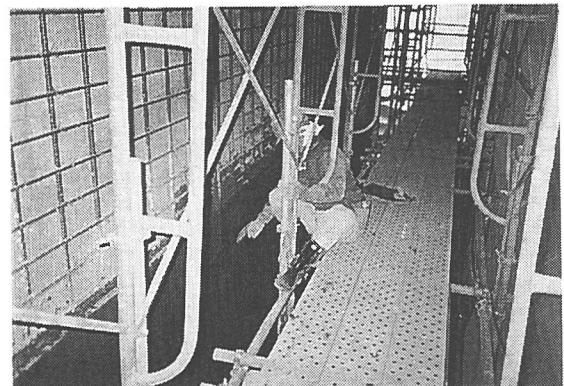


写真-4 コテ仕上げ状況

表-7 品質管理項目

	項目	方法	許容値
鉄筋設置用 が伊 ^レ 設置工	防錆処理	目視 ミルシート	キズがないこと 規格内
	突起の間隔	スケール	設計±10 mm
鉄筋設置工	長さ	スケール	設計±10 mm
	間隔	スケール	設計±10 mm が伊 ^レ の確認でも可
	品質	ミルシート	規格内
鉄筋溶接工	溶接長さ	スケール	設計以上
	溶接幅	スケール	設計以上
	溶接のど厚	スケール	設計以上
	溶接棒の品質	ミルシート	規格内
モルタル厚さ 管理用が伊 ^レ	防錆処理	目視 ミルシート	キズがないこと 規格内
	SSが伊 ^レ の品質	ミルシート	規格内
モルタル 吹付け工	モルタルの品質	ミルシート	規格内
	現場管理	スランプ 圧縮強度	8~12 cm σ 28 で 24N/mm ² 以上
	モルタル厚さ	モルタル厚さ管理 用が伊 ^レ にて	5.4 cm ± 0.5 cm
	鉄筋かぶり	モルタル厚さ管理 用が伊 ^レ にて	2 cm + 0.5 cm

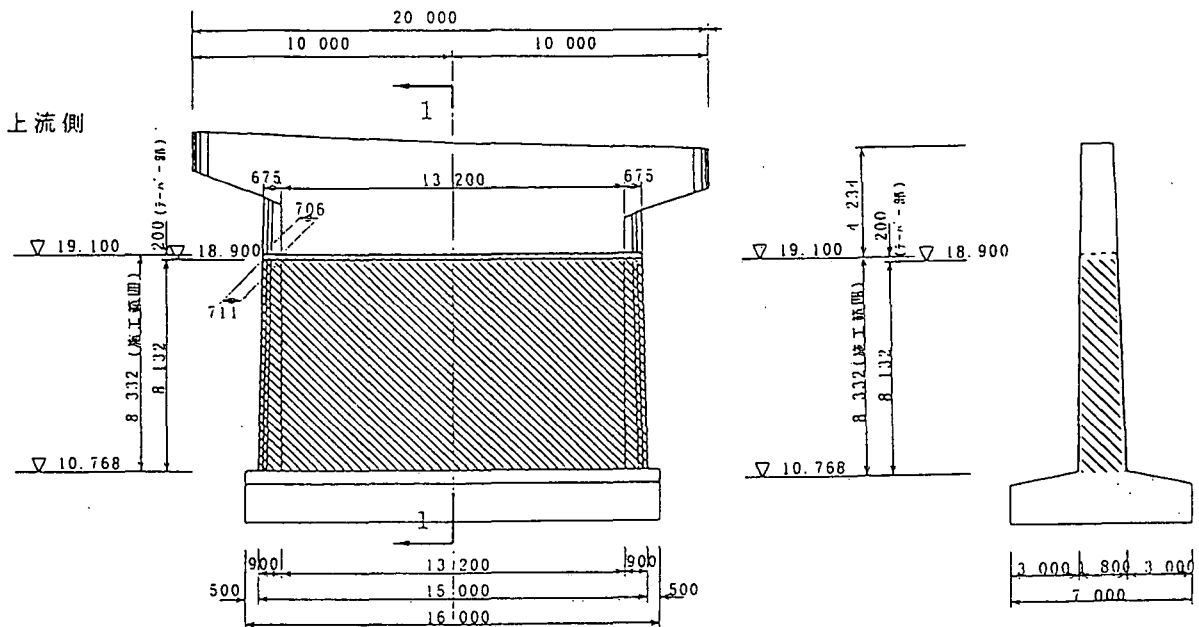


図-10 東名鶴見川橋脚の補強範囲

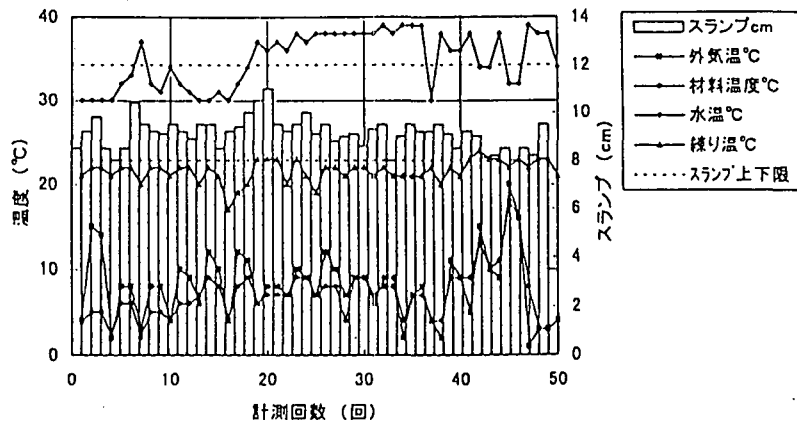


図-11 モルタル品質管理結果

6. あとがき

本薄層モルタル工法は、RC巻立て工法、鋼板巻立て工法および炭素繊維シート巻立て工法の欠点を補う工法として位置づけられる。道路橋の耐震補強としては、初めて実施したもので、今回は段落し部の補強として採用したが、本来は部材断面の小さい柱式橋脚やラーメン橋脚のせん断補強に適しているものと思われる。特長は、工事用道路、材料供給等の作業空間といった施工面で制約を受ける箇所、あるいは河川内のように河積阻害率、すりへり、摩耗など物理的損傷作用が働く箇所では有効であると思われる。今後は、現在残されている施工困難箇所での耐震補強工法として参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 吹付けモルタルによる高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針 (財)鉄道総合技術研究所 平成8年10月