

[1053] 添え筋と吹付モルタルによる RC 床版補強工法 に関する実験的研究

正会員○吉野伸一 (J R 北 海 道)
 正会員 石橋忠良 (J R 東 日 本)
 正会員 渡辺忠朋 (鉄 道 総 合 技 術 研 究 所)
 正会員 峰松敏和 (住 友 セ メ ン ト 製 品 事 業 部)

1 概要

最近、コンクリート構造物の耐久性が深刻な社会問題となっており、これらコンクリート構造物の劣化、変状に対する補修・補強工法の確立が急がれている。

本文は劣化RC床版の補強工法として、スラブ下面に新たに鉄筋を増設し、これにモルタルの吹付を行い、増設した鉄筋およびモルタルによって構造物を維持する工法に関して検討した結果について述べるもので、本工法は増設した鉄筋に基く補強設計が可能となる利点を有している。

実験としては、まず劣化RC床版を想定した梁供試体による静的載荷試験および打継目付着強度試験を実施 [1] し、その結果を踏まえ、大型のスラブモデル供試体による振動載荷試験を実施した。検討項目としては、旧コンクリートと吹付モルタルとの付着特性、増設した鉄筋 (以下添え筋と呼ぶ) および吹付モルタルによる耐力改善効果に着目し、本補強工法の実用性を明らかにした。

2 添え筋と吹付モルタルで補強した梁供試体の静的載荷試験

添え筋と吹付モルタルによる補強工法の基本的な適用性を検討するとともに使用材料および施工方法を確認するために実施した梁供試体による静的載荷試験の概略を以下に示す。

2. 1 試験概要

供試体形状を図-1に、実験因子を表-1に示す。補強前供試体 (以下、旧供試体と呼ぶ) の作製に用いたコンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck}=270\text{kgf/cm}^2$ 、鉄筋はSD30である。

検討項目は、①旧供試体の打継目処理方法、②添え筋の定着方法、③吹付材料の検討 (セメントの種類及び鋼繊維の有無) 等である。

表-1 静的載荷試験の実験因子 (梁供試体)

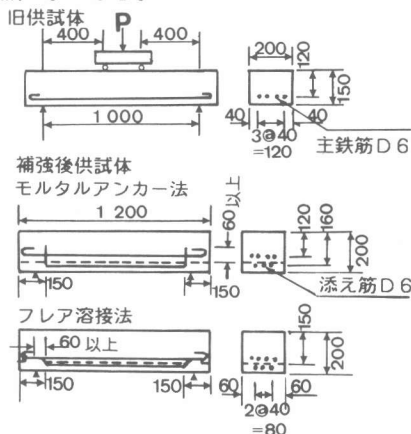


図-1 梁供試体の形状及び載荷方法

No	適用	吹付け材料	試験材令	補強筋固定方法	界面処理	プライマー
1	未補強					
2	補強	超速硬+SF	7日	アンカー	チッピング	処理せず
3	補強	超速硬+SF	7日	アンカー	ブラスト	処理せず
4	補強	超速硬+SF	7日	フレア	チッピング	処理せず
5	補強	超速硬+SF	7日	フレア	ブラスト	処理せず
6	補強	超速硬+SF	7日	フレア	ブラスト	プライマー-A
7	補強	超速硬+SF	7日	フレア	ブラスト	プライマー-B
8	補強	超速硬+SF	4時間	フレア	ブラスト	プライマー-A
9	補強	超速硬	7日	アンカー	チッピング	処理せず
10	補強	超速硬	7日	フレア	チッピング	処理せず
11	補強	超速硬	7日	フレア	ブラスト	プライマー-A
12	補強	超速硬	7日	フレア	ブラスト	プライマー-B
13	補強	超速硬	4時間	フレア	ブラスト	プライマー-A
14	補強	早強+SF	7日	アンカー	チッピング	処理せず
15	補強	早強+SF	7日	アンカー	ブラスト	処理せず
16	補強	早強+SF	7日	フレア	チッピング	処理せず
17	補強	早強+SF	7日	フレア	ブラスト	処理せず
18	補強	早強+SF	7日	フレア	ブラスト	プライマー-A
19	補強	早強+SF	7日	フレア	ブラスト	プライマー-B
20	補強	早強+SF	4時間	フレア	ブラスト	プライマー-A
21	補強	早強	7日	アンカー	チッピング	処理せず
22	補強	早強	7日	フレア	チッピング	処理せず
23	補強	早強	7日	フレア	ブラスト	プライマー-A
24	補強	早強	7日	フレア	ブラスト	プライマー-B
25	補強	早強	4時間	フレア	ブラスト	プライマー-A

アンカー：モルタルアンカー法、フレア：フレア溶接法、SF：鋼繊維
 ブラスト：バキュームブラスト機使用 (グリッド径=0.3mm)
 プライマー-A：VAE系、プライマー-B：アクリル系

吹付方法は乾式とし、吐出時の配合は、S/C=4/1,W/C=40%,鋼繊維混入率=1%を目標とした。測定項目は、供試体中央部のたわみ、新旧鉄筋のひずみおよびコンクリートの表面ひずみとし、試験材令は、吹付作業終了後4時間および7日、載荷方法は図-1に示す2点对称載荷とした。

2.2 試験結果および考察

梁供試体を用いた静的載荷試験の結果、以下の諸点が明らかとなった。

①試験時のひびわれは、供試体下面から発生し、荷重増加に伴って旧供試体へ進展した。また、終局状態に近づくると旧供試体と吹付モルタルとの界面にそった水平ひびわれが発生した供試体も存在したが、早強セメントモルタル吹付終了後4時間で載荷した供試体以外はいずれも破壊モードは曲げ引張破壊であった。

②図-2の試験時の荷重-鉄筋ひずみ曲線における新旧鉄筋ひずみの挙動は、鉄筋位置の違いを的確に反映しており、ここからも旧供試体と吹付モルタルは十分に一体化して挙動していると考えられる。

③供試体耐力は計算値[2]よりも若干大きく、当初期待した通り、吹付モルタル中に混入した鋼繊維による補強効果が推察される。(表-2参照)

④早強セメントモルタル吹付終了後4時間で載荷した供試体には、吹付モルタルのはく落(鋼繊維有)や支点部の圧壊(鋼繊維無)が生じたが、試験材令7日では、セメントの種類による差は認められなかった。

⑤吹付モルタル中に鋼繊維を混入することにより、降伏点荷重および終局耐力が若干増加し、初期剛性も向上した。

⑥添え筋の定着法(モルタルアンカー、フレア溶接)による影響は全く認められなかった。

⑦旧供試体の表面処理方法(チップング処理、ブラスト処理)およびプライマーの有無が静的載荷試験時の終局耐力に及ぼす影響は明確でなかった。

3 打継目付着強度試験

梁供試体の静的載荷試験において、旧供試体の表面処理方法の違いが補強効果に及ぼす影響は明確でなかったが、既設コンクリートと吹付モルタルとの打継目付着特性を定量的に把握し、より安全性を高めるため打継目付着強度試験を実施した。

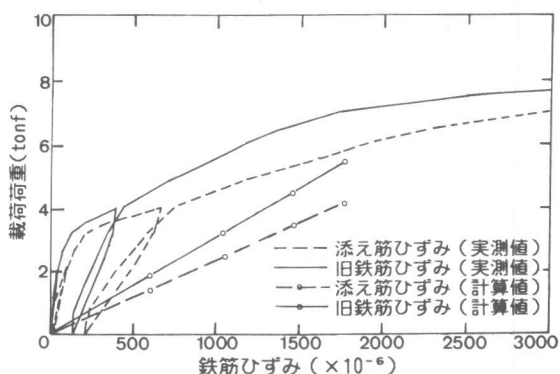


図-2 静的載荷試験時の荷重-鉄筋ひずみ曲線(梁供試体)

表-2 静的載荷試験結果(梁供試体)

適用	荷重条件	材令	計算値 (tonf)	実測値 (tonf)				
				未補強	超速硬+SF	超速硬	早強+SF	早強
補強前	降伏点荷重	—	2.52	2.87	—	—	—	—
補強後	降伏点荷重	7日	4.28	—	5.79	5.42	5.79	5.56
	終局耐力	4時間	—	—	8.46	8.10	5.54	1.56
		7日	—	—	8.62	8.24	8.94	8.86

表記法は表-1に準ずる。

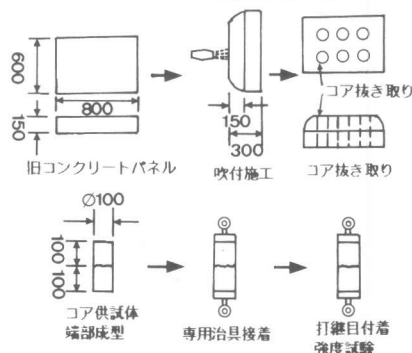


図-3 打継目付着強度試験用供試体の形状及び試験方法

表-3 打継目付着強度試験の実験因子

No	吹付け材料	界面処理	プライマー	釘の有無
1	超速硬+SF	チップング	処理せず	無
2	超速硬+SF	ブラスト	処理せず	無
3	超速硬+SF	ブラスト	処理せず	有
4	超速硬+SF	ブラスト	プライマー-A	無
5	超速硬+SF	ブラスト	プライマー-B	無
6	早強+SF	チップング	処理せず	無
7	早強+SF	ブラスト	処理せず	無
8	早強+SF	ブラスト	処理せず	有
9	早強+SF	ブラスト	プライマー-B	無

表記法は表-1に準ずる。

3. 1 試験概要

打継目付着強度試験用の供試体は、図-3に示す形状、寸法のコンクリートパネルを用い、これに所定の表面処理を施した後、吹付（厚さ15cm）を実施した。表面処理方法および吹付材料は、表-3に示す9種類とした。打継目付着強度試験方法の概略を図-3に併記する。試験は、材令7日および28日を標準としたが、一部の供試体は材令91日についても実施した。

3. 2 試験結果および考察

表-4の打継目付着強度試験結果から、以下の諸点が明らかとなった。

①物理的な打継目処理方法としては、チッピング処理よりもブラスト処理の方が優れている。

②プライマー有無の影響は、材令7日では明確でないが、長期材令ではプライマー有の方が優れている。

③コンクリート釘を配した供試体の付着強度は釘による改善効果が認められず、強度はブラスト処理のみの場合よりもむしろ低下した。

すなわち、ブラスト、プライマー塗布等の表面処理を行うことにより、打継目付着強度の改善が可能で、これは補修・補強効果や安全性の確保等を考慮した場合、打継目処理方法としては最良の方策を構ずる方が良いことを示唆している。

4 添え筋と吹付モルタルにより補強したスラブ供試体の若材令時における振動の影響

前項までの試験において、本工法における静的補強効果や新旧打継目付着特性については把握できたが、本工法を実用化するためには、①吹付施工中または施工直後における列車荷重等による動的荷重の影響、②吹付終了後極く短時間における補強効果、等を検討する必要がある。

そこで、前記試験結果に基づき、吹付材料として鋼繊維混入超速硬セメントモルタル、旧供試体の表面処理方法としてブラスト処理およびアクリル系のプライマー塗布、添え筋の定着方法としてモルタルアンカーによる方法を採用し、吹付後短時間での振動載荷試験を実施した。また、振動載荷試験後の供試体を用い、静的載荷試験および打継目付着強度試験を実施し、吹付後極く短時間での振動載荷が供試体耐力および新旧打継目付着強度に及ぼす影響について検討した。

4. 1 試験概要

本試験に用いた供試体の形状および載荷方法を図-4に示し、実験の諸元を表-5に示す。添え筋の配置間隔は、吹付モルタルの施工性を考慮して、2方向配筋の場合30cm、25cm、1方向配筋の場合20cm、15cmとした。また、吹付モルタルは添え筋裏側への回り込みを考慮し S/C=3/1 W/C=45%、鋼繊維混入率=1%の吐出配合とした。

振動載荷試験条件としては実高架橋の鉄筋応力状態を考慮し載荷荷重=4±1tonf、周波数=20Hzとし、30秒間載荷（振動回数600回）、5分間静置（4tonfの持続荷重載荷）を10回繰り返した。振動は吹付後30分、1、2、4時間で開始した。また、静的載荷試験は振動終了後、引き続き実施することとした。いずれの試験においても載、除荷時の各荷重段階における新旧鉄筋ひずみ、供試体中央部のたわみを測定し、さらに目視によりびびり観を観察した。なお、振動試験においては、

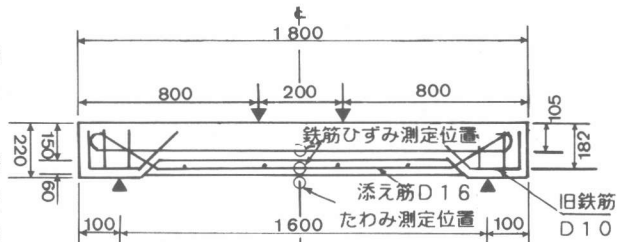


図-4 スラブ供試体の形状及び載荷方法

表-4 打継目付着強度試験結果

	超速硬+SF			早強+SF		
	7日	28日	91日	7日	28日	91日
チッピング	1.21	—	—	3.60	3.28	—
ブラスト	23.41	14.35	21.00	14.18	13.01	17.10
ブラスト+釘打ち	6.46	9.87	—	5.46	8.02	—
ブラスト+プライマー-A	12.65	17.26	15.90	—	—	—
ブラスト+プライマー-B	15.02	23.29	21.80	16.34	19.68	22.80

表記法は表-1に準ずる。単位：(kgf/cm²)

各回の振動直後のひずみおよびたわみも測定した。

表-5 振動載荷試験諸元

No	方向	振動材令	補強鉄筋ピッチ	振動後試験	吹付け厚さ	備考
D						旧供試体
0	二方向		30cm		6cm	静的載荷用
1	二方向	30分	30cm	付着強度試験	6cm	
2	二方向	30分	30cm	静的載荷試験	6cm	
3	二方向	1時間	30cm	付着強度試験	6cm	
4	二方向	1時間	30cm	静的載荷試験	6cm	
5	二方向	2時間	30cm	付着強度試験	6cm	
6	二方向	2時間	30cm	静的載荷試験	6cm	
7	二方向	4時間	30cm	付着強度試験	6cm	
8	二方向	4時間	30cm	静的載荷試験	6cm	
9	二方向	1時間	25cm	付着強度試験	6cm	
10	二方向	1時間	25cm	静的載荷試験	6cm	
11	一方向	1時間	15cm	付着強度試験	6cm	
12	一方向	1時間	15cm	静的載荷試験	6cm	
13	一方向	1時間	20cm	付着強度試験	6cm	
14	一方向	1時間	20cm	静的載荷試験	6cm	
15	一方向	1時間	20cm	静的載荷試験	4cm	
16	一方向	1時間	15cm	静的載荷試験	4cm	

打継目付着強度試験方法は前述(3.1)と同じとし、振動終了後の供試体からコアを採取し、試験材令4日で実施した。

4.2 試験結果および考察

1) 振動載荷試験

吹付後30分で振動試験を開始した供試体の新旧鉄筋のひずみおよびたわみと振動回数との関係を図-5に示し、振動試験終了時の鉄筋ひずみおよびたわみを各要因別に図-6に示す。

なお、本実験では振動開始時間に拘らず、吹付モルタルのはく落、ひびわれの発生等の変状は全く認められなかった。

図-5に基くと、吹付後30分で振動を与えた場合でも新旧鉄筋のひずみおよび供試体のたわみはほとんど増加せず、吹付モルタルが既に十分応力伝達材としての機能を發揮していることが明らかである。

また、図-6に基いて、これら鉄筋

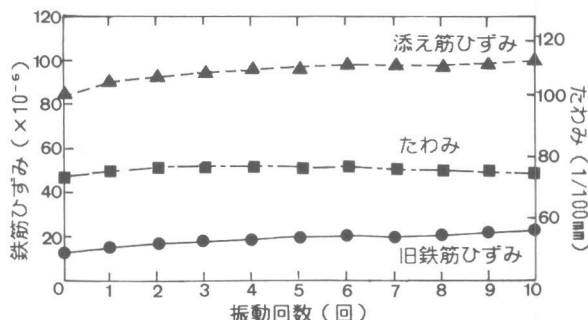


図-5 振動回数と鉄筋ひずみ及びたわみの関係

ひずみおよびたわみの改善効果を実験因子別にまとめると、

- ①振動開始材令が遅い程たわみは減少する、
- ②配力筋の配置や添え筋ピッチの減少は新旧鉄筋ひずみを低減する。
- ③かぶり(吹付)厚さの増大は、鉄筋ひずみ、たわみの双方を減少させる傾向にある。

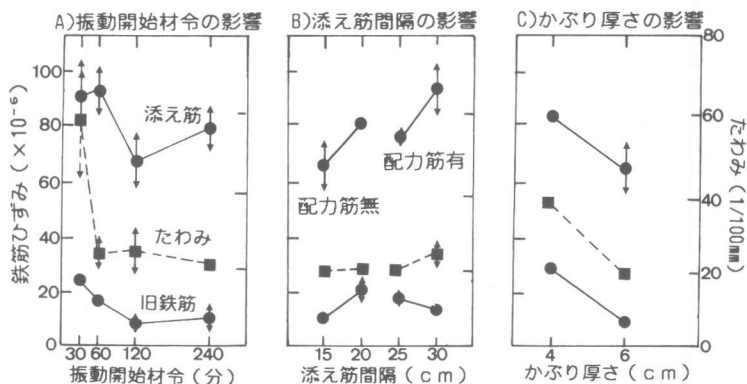


図-6 各実験因子による鉄筋ひずみ及びたわみの変化

なお、これらが、超速硬セメントの強度発現性や吹付厚さに基く部材剛性に起因することは明確である。

2) 静的載荷試験

前述の振動載荷試験直後に実施した静的載荷試験におけるひびわれ状況を図-7に示す。ひびわれはいずれも載荷点間の供試体下縁から発生し、荷重の増加に伴ない旧供試体部へと進展

した。また、最大耐力に至るまでは、打継目に添ってひびわれが生じるなどの現象は全く認められなかった。なお、最大耐力以降の大変形域においては、打継目に添った水平ひびわれやせん断ひびわれが認められた供試体も存在したが、振動試験開始材令、補強鉄筋配置間隔、配力筋の有無およびかぶり厚さの違いがひびわれ状況や破壊状況に影響をおよぼすことはなかった。

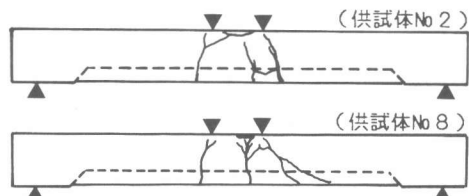


図-7 静的載荷試験後のひびわれ状況

静的載荷試験における終局荷重を表-6に示す。表中の計算値の算出においては、鋼繊維を以下の仮定で考慮することとした。

- ①鋼繊維を等量の鉄筋(SD30)と考える。
- ②鋼繊維のリバウンドおよび配向性を考慮し、吹付厚さ別に、鉄筋換算量 = 2.4および1.6cm²とする。
- ③鋼繊維に相当する鉄筋は吹付モルタル層の図心位置にあるものとする。

この仮定の基に算出した計算値は二方向スラブでは実験値と同等もしくは若干小さい程度であるが、一方向スラブにおいては実験値よりかなり小さく、これは鋼繊維による応力分配等も影響していると考えられるが、明らかでない。

この点については、今後、鋼繊維の鉄筋換算仮定や鋼繊維によるせん断耐力の改善を含め検討する必要がある。なお、終局耐力の計算値は実験値に比べ過少であったが、その比率はほぼ等しく、これは本工法による補強効果を定量的に把握出来ることを示唆していると考えられる。

次に、旧鉄筋と添え筋のひずみおよび供試体たわみと荷重との関係を図-8に示す。図によると、旧鉄筋および添え筋のひずみ挙動は鉄筋位置の差を的確に反映しており、旧供試体と吹付モルタルが鉄筋降伏時まで十分に一体化して挙動していることが明らかである。また、振動試験開始材令の違いがその後の鉄筋ひずみに与える影響はほとんど認められなかった。なお、供試体のたわみも鉄筋ひずみに準じる挙動を示した。

3) 打継目付着強度試験

振動載荷試験後の供試体から採取したコア供試体の打継目付着強度試験における破壊位置は打継目界面以外でも生じ、吹付モルタルのラミネーション部(層状の締固め不良部)あるいは旧供

表-6 静的載荷試験結果(スラブ供試体)

No	方向	振動材令	補強鉄筋ピッチ	吹付厚さ	終局耐力(tonf)	
					実測値	計算値
D	—	旧供試体	—	—	4.78	—
0	二方向	静的試験	30cm	6cm	19.76	19.2
2	二方向	30分	30cm	6cm	19.18	19.2
4	二方向	1時間	30cm	6cm	20.56	19.2
6	二方向	2時間	30cm	6cm	19.84	19.2
8	二方向	4時間	30cm	6cm	20.22	19.2
10	二方向	1時間	25cm	6cm	20.80	19.2
12	一方向	1時間	15cm	6cm	28.83	25.7
14	一方向	1時間	20cm	6cm	19.41	17.0
15	一方向	1時間	20cm	4cm	18.71	15.5
16	一方向	1時間	15cm	4cm	24.41	21.3

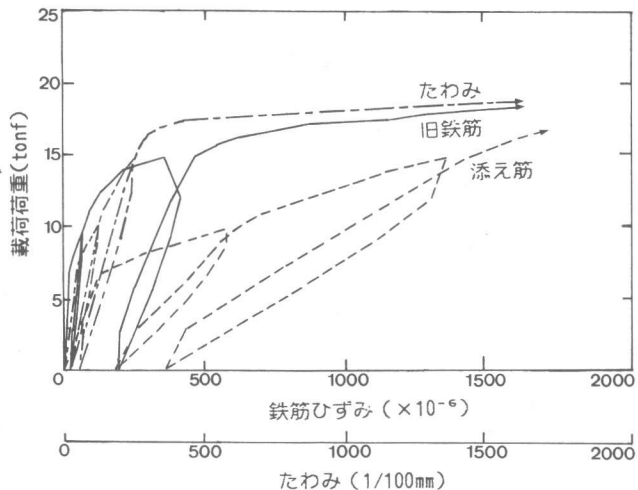


図-8 静的載荷試験時の荷重-鉄筋ひずみ曲線(スラブ供試体)

試体部で破断したものも存在した。特にラミネーション部で破断した場合には打継目付着強度が極端に小さく、実験因子の影響を把握出来ないため、打継目界面および旧供試体部で破断した試験結果のみで比較すると表-7となる。表より、振動試験開始材令は打継目付着強度にほとんど影響しないと思われる。また、補強鉄筋配置間隔、配力筋の有無およびかぶり厚さ等の違いも、打継目付着強度に影響を及ぼさなかった。

5 結論

添え筋と吹付モルタルによるRC床版補強工法について検討した結果、本補強

工法はコンクリート構造物の耐力向上に非常に有効であり、十分実用可能な工法であることが明らかとなった。

一連の試験結果を要約すると以下の通りである。

(1) 旧コンクリート構造物に新たに補強鉄筋を増設し、吹付モルタルによりかぶり厚さを確保する本工法により、明らかな補強効果が期待出来る。

(2) 本工法による補強効果は、鋼繊維の混入による影響を適切に評価すれば、定量化可能であると考えられる。

(3) 吹付モルタルの施工においては、吹付施工後供用までの養生時間に十分注意し、適当な吹付材料を選定しなければ、所定の補強効果が得られないばかりか、供用直後の列車振動等により吹付モルタルのはく落、ひびわれの発生等の恐れがある。

(4) 添え筋の定着方法としては、旧鉄筋へのフレアー溶接法および旧構造物へのアンカー法のいずれを用いてもほぼ同様の補強効果が得られる。

(5) 補強鉄筋の配置間隔は15cm以上の間隔があれば吹付工に何ら支障を生ずることなく、所定の補強効果が得られる。

(6) 旧コンクリートと吹付モルタルとの打継目界面の処理方法としては、ブラスト処理による方法が優れており、更に適当なプライマーを用いれば長期に亘って安定した打継目付着強度が得られる。

(7) 打継目付着強度に振動試験開始材令、配力筋の有無、補強鉄筋間隔およびかぶり厚さの影響はほとんど認められなかった。しかしながら、吹付モルタル中にラミネーションが発生すると打継目よりもむしろ低い引張強度となるため、吹付工においてはラミネーションの発生を極力防止することが必要である。

なお、以上の結論に基づいて、本工法を用いた補強工事も既に試験施工されている。

【参考文献】

[1] 北後、瀧本、峰松；補強鉄筋と吹付モルタルを用いた既設構造物の補強に関する研究、第40回セメント技術年報 1986年

[2] 土木学会 国鉄構造物設計標準解説

[3] 峰松、内田、松崎、佐藤；超速硬セメントと鋼繊維を用いた吹付けモルタルの諸性状、第8回コンクリート工学年次講演会論文集 1986年

表-7 振動載荷試験後の打継目付着強度試験結果

No	方向	振動材令	鉄筋間隔 (cm)	打継目付着強度(kgf/cm ²)		
				試験結果	破壊位置	平均値
1	二方向	30分	30cm	22.5	付着界面	22.5
3	二方向	1時間	30cm	29.9 22.4	旧コンクリート 付着界面+新	26.2
5	二方向	2時間	30cm	16.6	付着界面+旧	16.6
7	二方向	4時間	30cm	25.4 25.2 27.3	旧コンクリート 付着界面+旧 旧コンクリート	26.0
9	二方向	1時間	25cm	—	—	—
11	一方向	1時間	15cm	23.6 22.4 28.6	付着界面+新 旧コンクリート 付着界面+旧	24.9
13	一方向	1時間	20cm	26.6 21.6 19.5 20.8	旧コンクリート 接着面+旧 付着界面+新 付着界面	22.1