

論文 表面を加工した RC ばりと耐震壁の薄鋼板による 接着接合について

立石 妙子*¹・河村 博之*²・古賀 啓子*³・山本 幸一*⁴

要旨: RCばりと耐震壁の接合方法として薄鋼板と接着剤による接着接合法を考え、接合部のせん断耐力の増大と靱性の向上を目的とするせん断実験を行った。その結果、コンクリート表面を加工し、コンクリートと薄鋼板接着面の表層破壊が生じないように粗骨材にまで接着するようにすればせん断耐力を増大でき、靱性を増すためには薄鋼板にスリットを設けると効果があることが分かった。増設RC壁のせん断耐力よりスリット間薄鋼板の降伏荷重が下回るようにし、接着面積から算出したせん断接着耐力がRC耐震壁のせん断耐力より上回るように設計すれば、実用的で靱性のある接着接合部とすることができることを報告したものである。

キーワード: 耐震補強, 薄鋼板, コンクリート表面加工, 接着接合, 接着剤

1. はじめに

建物の耐震補強方法としては、RC耐震壁やS造枠付きプレースの増設による補強方法が最も多く利用されている。我々は、これらRCばりと壁又はプレース枠の接合方法として、薄鋼板と接着剤による接着接合方法を考え、実験を進めており、昨年はこの工法の実用的な可能性について報告した¹⁾。今回は(1)既存のRCばりとRC耐震壁を想定した接合部の接着面のコンクリート表面を加工し、スリットのない薄鋼板を接着した時、コンクリート表面の加工形状によりせん断接着強さを高めることができるか、(2)スリットのある場合は、スリット部を除く接着面の接着耐力が、薄鋼板スリット部の曲げ降伏点から求めた降伏せん断力を上回るようにスリット間の長さや幅を決めた時、コンクリート表面加工形状と平均せん断接着強さとの関係はどのようになるか、(3)既報¹⁾で薄鋼板にスリットを設けた接合部の靱性効果を検討したがその時は接着強度が小さくなり、スリット部が降伏する前に破壊したため、十分な靱性効果

が期待できなかった。今回、改めてスリット形状を変更し、靱性効果を充分高めることができるか、の3項目について検討するためのせん断実験を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 実験供試体の形状・打設・薄鋼板形状 およびコンクリート表面加工形状

供試体の形状は、図-1に示すように接着面がフラットな場合を想定したFFタイプと、はり幅と壁厚が異なる場合を想定したLLタイプの2種類とした。LLタイプは、はり側接着面が底面に、FFタイプのはり・壁、LLタイプの壁は接着面が側面になるように型枠を作製し、レディミクストコンクリートを打設した。薄鋼板は、図-2に示すように片側幅 $b=100$ mm、長さ $L=300$ mm、厚さ $t_s=1.6$ mmのものを使用し、スリットがないもの(a)(b)と、20 mm間隔に接合面位置からそれぞれ40 mm離れた所に2φの孔をあけ、その間をレーザーにより切断しスリットを設けたもの(c)(d)の2種類とした。

*1 東和大学教授 工学部建設工学科 (正会員)

*2 九州産業大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*3 九州産業大学助手 工学部総合機器センター

*4 九州産業大学大学院 工学研究科建築学専攻修士課程 (正会員)

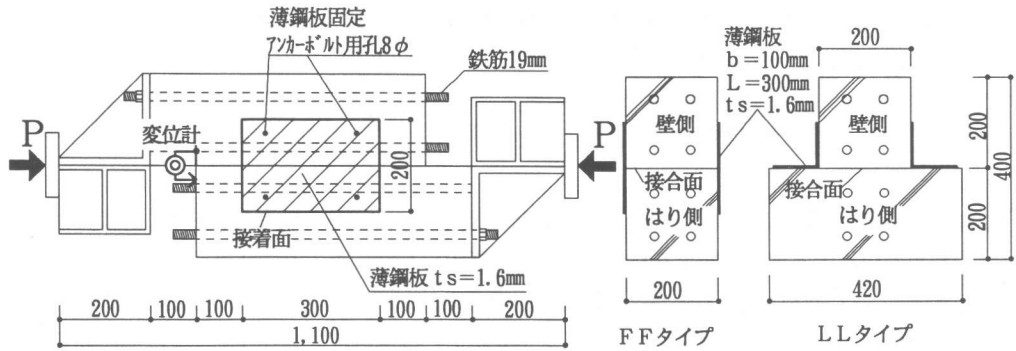


図-1 実験供試体の形状

コンクリート表面の加工形状は、図-3に示すようにFFタイプ、LLタイプとも、接着剤が粗骨材になるべく多く接着するように、(a)コンクリート表面に電動ドリルで直径16mm深さ5mmの孔を所定の位置に3ヵ所設けた加工C、(b)電動丸のこで幅10mm深さ5mm長さ300mmの溝を設けた加工t、(c)比較のために加工を何もしないもの(O)の3種類の形状とした。

2.2 接着剤および薄鋼板の接着手順

既存のRCはり増設耐震壁を薄鋼板で接合するには、上向き、横向きの接着箇所が多くなるた

め、接着剤には、だれ難い2液性エポキシ樹脂のパテ状シール材を使用した。

接着前準備として、コンクリート表面には薄鋼板を固定、圧着するためのアンカーボルト(6φのコンナット式)用の孔を電動ドリルで所定の位置に片側2ヵ所づつ設けた。薄鋼板を接着するコンクリート表面の下地処理は、一般的な現場接着工法と同様に、剥離剤用油分を除去するためにディスクサンダー#16で研磨し、ほこりは掃除機で除去した。薄鋼板の表面も同様にディスクサンダー#16で目荒らしをした。スリットのない場合は接合面位置にあたる薄鋼板の中央部は20mmの両面テー

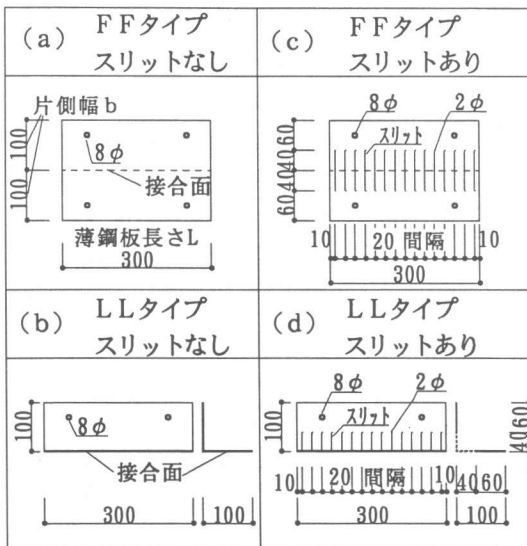


図-2 薄鋼板の形状

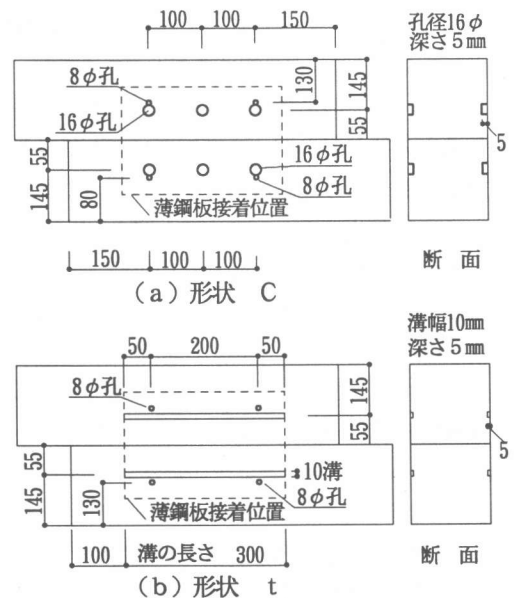


図-3 コンクリート表面加工形状

ブを貼り、接着剤が接合面に付着しないようにし、スリットを設けた場合は、スリット部分がコンクリート部材と接着しないようにあらかじめ 90 mm × 300 mm のケント紙の両縁を粘着力の弱い両面テープで薄鋼板に貼り付けておいたものを使用した。スリットの曲げ降伏近辺が接着強度に及ぼす影響をみるためにスリットがない薄鋼板で同様のケント紙を貼り付けた試験体も作製した。次に、コンクリート表面と薄鋼板表面をアセトンで拭きほこりを除去した。

接着は、主剤と硬化剤を混合してから接着までの時間が 15～20 分で終了するように 1 体分ずつ練り混ぜ、コンクリート表面と薄鋼板表面の両方に塗布したのちに貼り付けた。その後、ただちに山形鋼とアンカーボルトを用いて薄鋼板を固定圧着した。薄鋼板を接着した 3 日後に山形鋼を取り外し、さらに 7 日間実験室で空中養生した。

2.3 載荷方法および測定方法

載荷は、はり一壁接合面に曲げが加わらないように、340KN センターホールジャッキを用いて片振り繰り返し載荷を行った。載荷要領は図-4 に示す。測定方法は、荷重はロードセルにより、また上下の接合面間のずれ変位量は電気式変位計を用いて静ひずみ計で測定した。

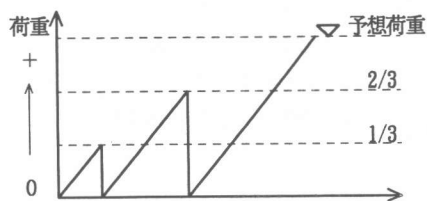


図-4 載荷要領図

3 実験結果

3.1 最大せん断接着荷重

供試体記号と最大せん断荷重、最大荷重時変位量、破壊形状の種類を、スリットを設けた場合は降伏荷重も表-1 に示し、破壊形状のモデル図を図-5 に示した。表中の破壊形状記号は破壊面積が多い順に示した。薄鋼板にスリットがない場合

は、コンクリート表面を加工して粗骨材に接着させたもの(加工 C, 加工 t)はないもの(O)に比べ、FFタイプは加工 C, 加工 t とともに、最大荷重は一割程度増加したが、LLタイプの場合は接着不良の供試体(LL30-10-C-4)を除いてもほとんど増加が認められなかった。これは破壊形状に見られるように、はり側の部材が L 型薄鋼板端からのへりあきが小さかったために、加力側の側端コンクリートがせん断破壊(G)したためと思われる。

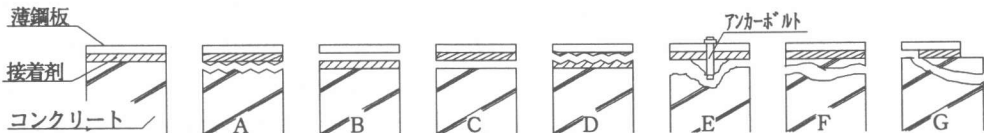
薄鋼板にスリットを設けた場合は、FFタイプ、LLタイプとも、コンクリート表面加工があるもの(加工 C, 加工 t)もないもの(O)もスリットがないものに比べ、最大荷重は小さくなった。しかし、スリットがあるもの同士ではコンクリート表面を加工したもの(加工 C, 加工 t)としないもの(O)を比べると FFタイプ、LLタイプとも一割程度大きくなった。これは、薄鋼板にスリットを設けるとスリット端に曲げにより接着面にねじれが生じ最大荷重は小さくなるが、この場合でもコンクリート表面を加工すれば耐力は若干大きくなることを示す。

3.2 破壊形状

スリットがない FFタイプの場合は、加工なし(O)はコンクリート表層破壊(A)が多く見られたが、コンクリート表面を加工したもの(加工 C, 加工 t)はコンクリート表層破壊(A)と孔や溝の近くのコンクリート破壊(F)が混合して生じたものが多かった。これは接着剤が粗骨材と充分接着したためと思われる。薄鋼板を固定するために埋め込んだアンカーボルトの近くから錐状破壊したものの(E)もあるが、これはコンクリート破壊(F)に伴って生じたと思われる。LLタイプの場合は薄鋼板端からのへりあきが小さい側端コンクリート破壊(G)とコンクリート表層破壊(A)の混合したものが多く見られた。また、スリットのある場合は薄鋼板が降伏したのちも荷重が上がったため、片側の薄鋼板が剥がれ、接合面にねじれが生じ、薄鋼板とエポキシ樹脂の界面破壊(B)が多く見られた。LLタイプの場合、はり側の水平接着面の破壊が

表一 供試体記号と実験結果一覧表

スリットなし 供試体記号	最大せん断荷重 Pmax (KN)	Pmax時 変形量 δ (mm)	破壊形状	スリットあり 供試体記号	降伏せん断荷重 Pye (KN)	最大せん断荷重 Pmax (KN)	Pmax時 変形量 δ (mm)	破壊形状
コンクリート $\sigma_B=27.0 \text{ Mpa}$ 接着面積 $A=54000\text{mm}^2$				コンクリート $\sigma_B= 28.4 \text{ Mpa}$ 接着面積 $A=33000\text{mm}^2$				
FF30-10-O-1	130.4	0.297	A, B	FF30-10-O-1(SL0*0)		88.9	0.24	A・B
-2	131.3	0.248	A, F	-2(SL0*0)		66.4	0.16	A・B
-3	158.9	0.321	A, E, B	FF30-10-O-1(SL2*8)	23.0	* 39.6	7.96	A・B・D
-4	130.9	0.212	A, B	-2(SL2*8)	23.5	53.9	10.20	B・A
FF30-10-C-1	134.9	0.212	A, B	FF30-10-C-1(SL2*8)	25.6	58.1	8.69	A・B
-2	150.2	0.269	F, A	-2(SL2*8)	18.8	56.6	11.02	B・A
-3	161.3	0.246	F, E, A	FF30-10-t-1(SL2*8)	22.9	59.2	10.52	B・A
-4	154.3	0.237	F, E, A	-2(SL2*8)	23.2	64.6	11.46	B・A
FF30-10-t-1	155.1	0.256	F, A	LL30-10-O-1(SL0*0)		71.8	0.17	G・B
-2	150.6	0.304	A, F	-2(SL0*0)		72.9	0.19	G・B
-3	146.2	0.281	F, B	LL30-10-O-1(SL2*8)	22.8	* 41.5	8.20	G・B・A
-4	144.4	0.235	F, B	-2(SL2*8)	22.7	45.0	12.32	B・A
LL30-10-O-1	122.0	0.179	A, G, B	LL30-10-C-1(SL2*8)	22.5	47.8	11.49	B・A
-2	128.3	0.209	G, B, A	-2(SL2*8)	23.5	49.1	14.12	B・A
-3	150.7	0.211	B, A, G	LL30-10-t-1(SL2*8)	22.8	51.6	13.97	B・A
-4	*120.4	0.240	B, A, G	-2(SL2*8)	23.2	52.8	14.16	G・B・A
LL30-10-C-1	108.0	0.122	A, B, G	供試体記号 供試体タイプ 片側幅b 番号 スリット成いB $FF30-10-O-1 (SL0*0)$ ()はスリットによる比較の場合 接着長さ コンクリート表面形状 スリット長さh 使用接着剤 : エポキシ樹脂系パテ材, 引張せん断接着強さ10.0Mpa以上 特記 : 最大せん断荷重の*印は実験前接着不良を示す 破壊形状記号は面積が多い順に示す				
-2	141.2	0.214	A, G					
-3	133.6	0.256	A, G					
-4	87.3	0.120	B, G, A					
LL30-10-t-1	131.7	0.190	G, A, B					
-2	128.4	0.296	B, A, G					
-3	140.4	0.279	G, B					
-4	140.8	0.247	G, B					



- A : コンクリート表層破壊
- B : 薄鋼板とエポキシ樹脂との界面破壊
- C : コンクリートとエポキシ樹脂との界面破壊
- D : エポキシ樹脂とエポキシ樹脂間の破壊
- E : コンクリート錐状破壊
- F : コンクリート破壊
- G : 側端コンクリート破壊

図一5 破壊形状モデル図

ほとんどであり、破壊形状はコンクリート表層破壊(A)と薄鋼板とエポキシ樹脂の界面破壊(B)であった。

4 考察

4.1 スリットがない場合の

最大荷重時せん断接着強さ

供試体の最大荷重Pmax を片側薄鋼板の接着面積で割った値を平均せん断接着強さとして棒グラフで図-6(1)に示した。

スリットがない場合のRC耐震壁の破壊荷重を、

$$Q_{su}=0.1F_c \cdot tw \cdot l \quad (1)$$

但し、0.1Fc : コンクリートせん断強度(MPa)

tw : RC耐震壁厚(mm)

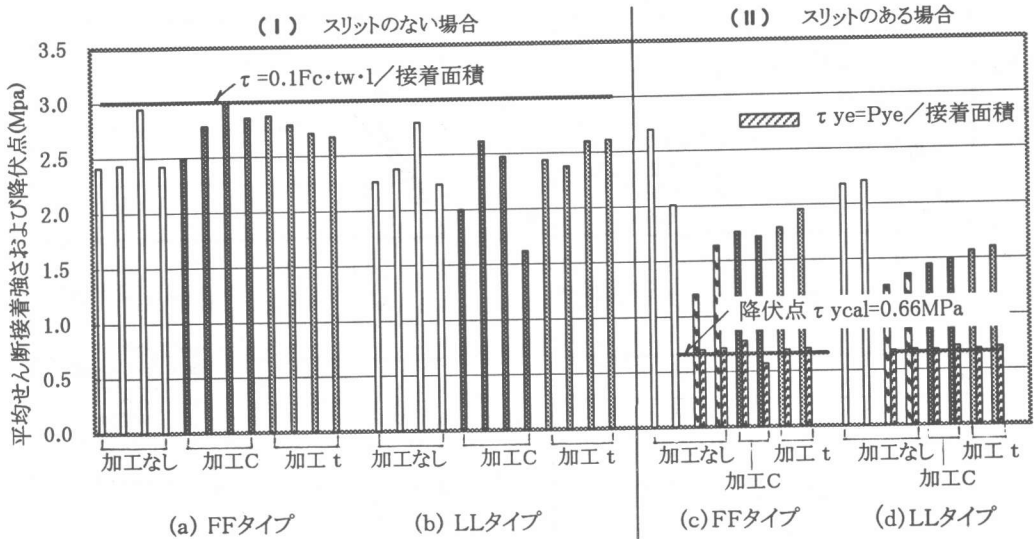


図-6 平均せん断接着強さ及び降伏点

l : 接着長さ(mm)

更に、RC耐震壁のせん断破壊強度を

$$\tau = Q_{su} / \text{接着面積} \quad (2)$$

とすれば、本実験の場合、 $0.1F_c = 2.70\text{MPa}$ 、RC耐震壁厚 $t_w = 200\text{mm}$ 、接着長さ $l = 300\text{mm}$ 、接着面積 $A = 54000\text{mm}^2$ より、RC耐震壁のせん断破壊強度 $\tau = 3.00\text{MPa}$ となり、図-6(1)中に直線で示した。FFタイプの場合、多少のばらつきはあるが加工なしの平均値が 2.50MPa 、加工ありの平均値が 2.77MPa でコンクリートの表面に深さ 5mm 程度の孔を設けるか(加工C)、溝を設けること(加工t)により接着剤が粗骨材に達しコンクリートと接着面の表層破壊が生じないようにすれば、約一割程度のせん断接着強さの増加がみられた。LLタイプの場合は、へりあきが不十分なはり側の側端コンクリートがせん断破壊したものが多かったために、表面加工の効果を得られなかった。

4.2 スリットがある場合のせん断接着応力

スリットがある場合は、平均せん断接着強さ $\tau = P_{\max} / \text{接着面積}$ と共に実験時の荷重-変形曲線から求めた降伏荷重(P_{ye})を接着面積で割った値(τ_{ycal})を図-6(II)に示した。また薄鋼板の引張試験(JIS Z 2241)で求めた降伏点 σ_y を用い

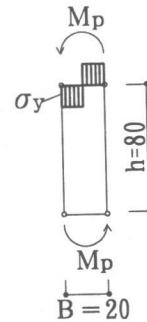


図-7 スリット端の応力

て図-7のようにスリット間薄鋼板長さ h 、スリット間薄鋼板幅 B 、薄鋼板厚さ t_s として、スリット間薄鋼板端の塑性モーメントを求めると

$$M_p = Z_p \cdot \sigma_y = (t_s \cdot B^2 / 4) \cdot \sigma_y \quad (3)$$

スリット間薄鋼板の降伏せん断力は

$$Q_y = 2 \cdot M_p / h \quad (4)$$

接合部の降伏荷重 (P_{ycal}) は

$$P_{ycal} = Q_y \cdot (\text{スリット間薄鋼板数}) \quad (5)$$

接合部の降伏せん断応力 (τ_{ycal}) は

$$\tau_{ycal} = P_{ycal} / \text{接着面積} \quad (6)$$

から得られる。今、引張試験から求めた薄鋼板の引張降伏点 $\sigma_y = 188\text{MPa}$ 、 $t_s = 1.6\text{mm}$ 、 $h = 80\text{mm}$ 、 $B = 20\text{mm}$ 、スリット間薄鋼板個数 $= (28 + 1/4 \cdot 4)$ 個、接着面積 33000mm^2 より $\tau_{ycal} = 0.66\text{MPa}$ となり

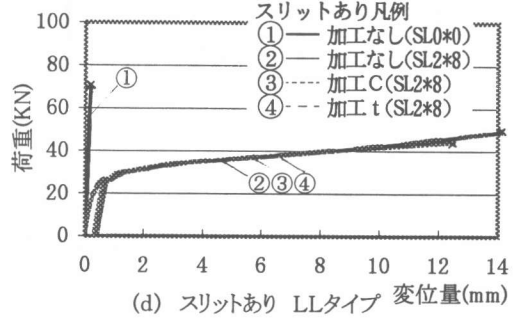
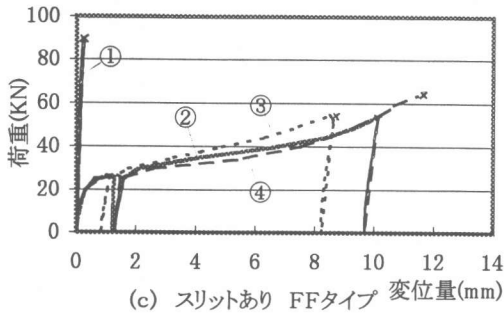
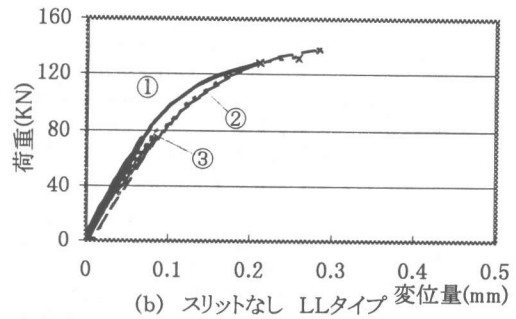
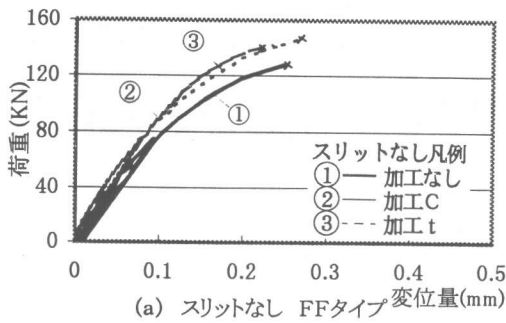


図-8 荷重-変形曲線

図-6(II)に直線で追記した。実験から求めた平均降伏時せん断接着応力 $\tau_y = 0.69 \text{ MPa}$ とよく一致している。

4.3 荷重-変形曲線

図-8に荷重-変形曲線の一例を示す。スリットがないFFタイプの場合、加工したもの(加工C,加工t)は、ないもの(O)と比べ、最大荷重は若干大きくなったが最大変位量はほとんど変わらなかった。LLタイプは最大荷重最大変位量剛性ともほとんど変わらなかった。スリットがある場合は薄鋼板が降伏点を越えてからの変位量が非常に大きくなり、変形が進んでも荷重が低下することなく、靱性効果が大きくなることが確かめられた。

5. まとめ

スリットがない場合、コンクリートのへりあきが充分あれば、コンクリート表面を深さ5mm程度加工し、コンクリートと薄鋼板接着面の表層破壊が生じないように粗骨材にまで接着すればせん断接着強度を約一割程度増大でき、接合部の最大せ

ん断荷重(Q_{\max})をRC耐震壁のせん断破壊荷重(Q_{su})に近づけることができる。スリットを設けた場合には、スリット間薄鋼板の降伏せん断荷重(Q_y)が、RC耐震壁せん断破壊荷重(Q_{su})を若干下回るようにスリット間薄鋼板の幅と長さを決め、実験から求めた平均せん断接着強さ(τ_y)を用いて、RC耐震壁せん断破壊荷重(Q_{su})より若干上回るように接着面積(A)を決めれば靱性を持たせる接合部とすることができる。

参考文献

- 1) 立石妙子, 河村博之: RCばりと増設耐震壁の薄鋼板による接着接合についての研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No3, pp.1597-1602, 2000.6

謝辞

この研究における接着剤はコニシ(株)よりご提供いただきました。ここに感謝いたします。

また、実験費用の一部は平成12年度文部省科学研究費[基盤研究(B)]によった。