

炭素繊維シートを用いた 共同溝の耐震補強効果に関する検討

中村剛¹・川島一彦²・渡邊学歩³・山下幹夫⁴・江寄順一⁵・
鈴木猛康⁶・古賀政二郎⁷

¹学生会員 東京工業大学大学院 理工学研究科土木工学専攻（〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1）

²フェロー会員 工博 東京工業大学大学院教授（同上）

³正会員 工修 東京工業大学大学院助手（同上）

⁴正会員 開発コンサルタント株式会社 事業本部 本部長（〒170-0005 東京都豊島区南大塚3-20-6）

⁵正会員 佐藤工業株式会社 土木本部設計部門第4グループ

（〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-20）

⁶フェロー会員 工博 中央復建コンサルタンツ株式会社 東京本社総合設計室 部長

（〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町2-11 イワサキ第二ビル）

⁷正会員 工博 炭素繊維補修・補強工法技術研究会 副会長

（〒134-0034 東京都墨田区堤通1-19-9 リバーサイド隅田セントラルタワー）

1. はじめに

共同溝の耐震性を評価すると同時に、耐震補強効果を検討するために、共同溝側壁部の部分実大試験体を用いた繰返し載荷実験を行った。現状の共同溝の耐震性を評価すると同時に、貫通アンカー及び拡張式アンカーで耐震補強した場合の補強効果については別途報告する通りである¹⁾。

ここでは、炭素繊維シート（以下、CFRP シート）を用いて耐震補強した場合の結果について示す。

2. 実験供試体及び載荷方法

本研究では、3.25m×4.05m の矩形断面を有する 1 層 2 ボックス式の共同溝を対象としている。地震時に地盤がせん断変形した場合に曲げモーメントが大きくなる側壁隅角部に着目し、図-1 に示す側壁の 1/2 区間と下スラブから構成される部分実大スケールの模型を 6 体製作した。

6 体の試験体のうち、1 体は補強せずに現状の構造に対する耐震性を評価し、残り 5 体には表-1 に示すように貫通アンカー、拡張式アンカー、及び CFRP シートを用いて耐震補強を施す。Case 1～3 の結果については別途報告している通りである¹⁾。ここでは、CFRP シートを用いた Case 4～6 の実験結果を報告する。

側壁を耐震補強する場合には、共同溝を掘り返し、側壁内側と同時に側壁外側からも CFRP シートを貼り付けることができれば一番良いが、道路の掘り返し防止という目的で建設された共同溝では、外側からの CFRP シート貼り付けは困難である可能性がある。このため、ここでは図-2 に示すように側壁内側にだけ CFRP シートを貼り付けるものとした。

実構造では、CFRP シートは側壁全高さに縦方向および応力分散の目的で横方向に貼り付けることになると考えられるが、ここでは側壁基部から 750mm（アクチュエータ取付装置の下端）の区間に、繊維目付量 300g/m² の高強度型 CFRP シートを、Case 4 では 4 層、Case 5 では 8 層、それぞれ縦方向にのみ貼り付けることとした。

CFRP シートは、側壁がせん断変形しても壁体と一体となって挙動するように、側壁基部に L 型鋼材（等辺山型鋼 120×120×8）を、また基部から 250～270mm、450～470mm 及び 700mm の高さには鋼製のフラットバー 65×6 を、それぞれ配置して固定することとした。ここで、L 型鋼材は、側壁にせん断破壊が生じた場合に、側壁が内側に移動するのを防止する効果も期待したものである。

フラットバーを側壁に固定したり、L 型鋼材を側壁や下スラブに固定するために、CFRP シート 4 層で耐震補強する場合は SD345、D16、長さ 130mm の樹脂アンカーを、また CFRP シート 8 層で耐震補強する場合には

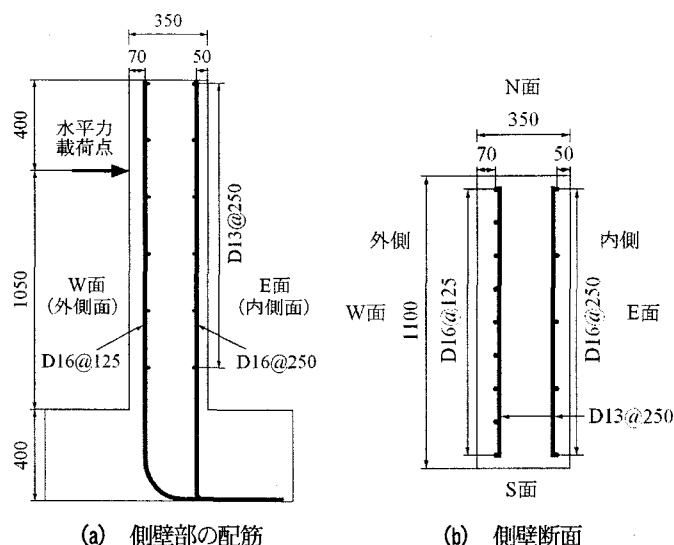


図-1 実験供試体

SD345, D25, 長さ 195mm の樹脂アンカーを、側壁に 4 本ずつ、下スラブに 8 本、それぞれ使用することとした。

また、Case 6 では、CFRP シート 4 層を用いると同時に、側壁のせん断破壊を防止するためには長いアンカーボルトの方が有効と考えられたため、フラットバーと L 型鋼材とを拡張式アンカー M12, 長さ 280mm, 4 本ずつを用いて側壁に固定することとした。この時、L 型鋼材は SD345, D16, 長さ 240mm の樹脂アンカー 8 本で下スラブにも固定した。

荷重は、Case 1～3 と同様、ドリフト 0.5% を基準に、変位制御による各ドリフト 3 サイクル繰り返し荷重とした。

3. CFRP シート 4 層で耐震補強した場合

(1) 損傷の進展

側壁内側を CFRP シート 4 層で耐震補強した試験体に繰り返し荷重した場合の損傷の進展を図-3 に示す。N 面での損傷は、十分に観測できなかったため、ここでは示していない。

ドリフト 1.0% の荷重では、側壁の S 面及び W 面に水平曲げひび割れが生じると同時に、パキパキという剥離音とともに L 型鋼材の上部で CFRP シートが壁面から剥離し始める。

ドリフト 1.5% 荷重になると、CFRP シートは、壁面から剥離する範囲が図-3 中 E 面の斜線部で示す領域に及び、ドリフト 1.0% 荷重時よりその程度が増す。この剥離が、後述する E 面側の曲げ耐力が低下する原因の一つである。ただし、CFRP シートが壁面から剥離する領域の上下は、フラットバーと L 型鋼材とで付着が確保されている。

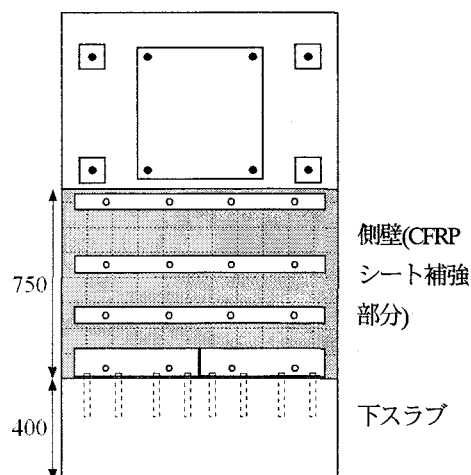


図-2 CFRP シート補強面の模式図

表-1 供試体の耐震補強

実験ケース	補強方法
Case 1	なし
Case 2	貫通アンカー (D12×12 本)
Case 3	拡張式アンカー (D12×12 本)
Case 4	CFRP シート (300g/m ² ×4 層)
Case 5	CFRP シート (300g/m ² ×8 層)
Case 6	CFRP シート (300g/m ² ×4 層) + 拡張式アンカー (D12×12 本)

ドリフト 2.0% 荷重になると、E 面方向への荷重に伴い側壁 W 面の基部から 200～500mm の高さからせん断ひび割れが生じ始める。同時に、下スラブにも、W 面側の基部を起点とするひび割れが、スラブ上面から 100mm 程度の深さをほぼ水平方向に走り、E 面側で L 型鋼材を下スラブに固定する鉛直アンカーの先端を廻り込むように生じる。

ドリフト 3.0% 荷重になると、側壁の W 面側から入ったせん断ひび割れは、さらに成長して E 面基部に達する。同時に、下スラブに生じたひび割れに沿って、下スラブコンクリートの表面ブロックが 5～10mm 程度 L 型鋼材を含めて浮き上がるようになり、L 型鋼材の下スラブへの固定が失われる。これは、W 面方向へ荷重した際に、L 型鋼材を下スラブに固定する鉛直アンカーに作用する軸引張力によって、下スラブのコンクリートがアンカー先端付近で引張破壊したものである。なお、アンカーとコンクリートブロックとは樹脂により付着状態であった。

ドリフト 3.5% 荷重になると、側壁のせん断ひび割れや下スラブの引張りひび割れはさらに大きくなり、W 面方向に荷重すると、せん断ひび割れを境に側壁上部が下部に比較して水平方向に 5mm 程度移動するようになる。一方、下スラブに固定した L 型鋼材は、もはや抜け上がりには抵抗できないものの、まだ水平移動には抵抗できるため、E 面方向へ荷重した場合に側壁の水平移動を

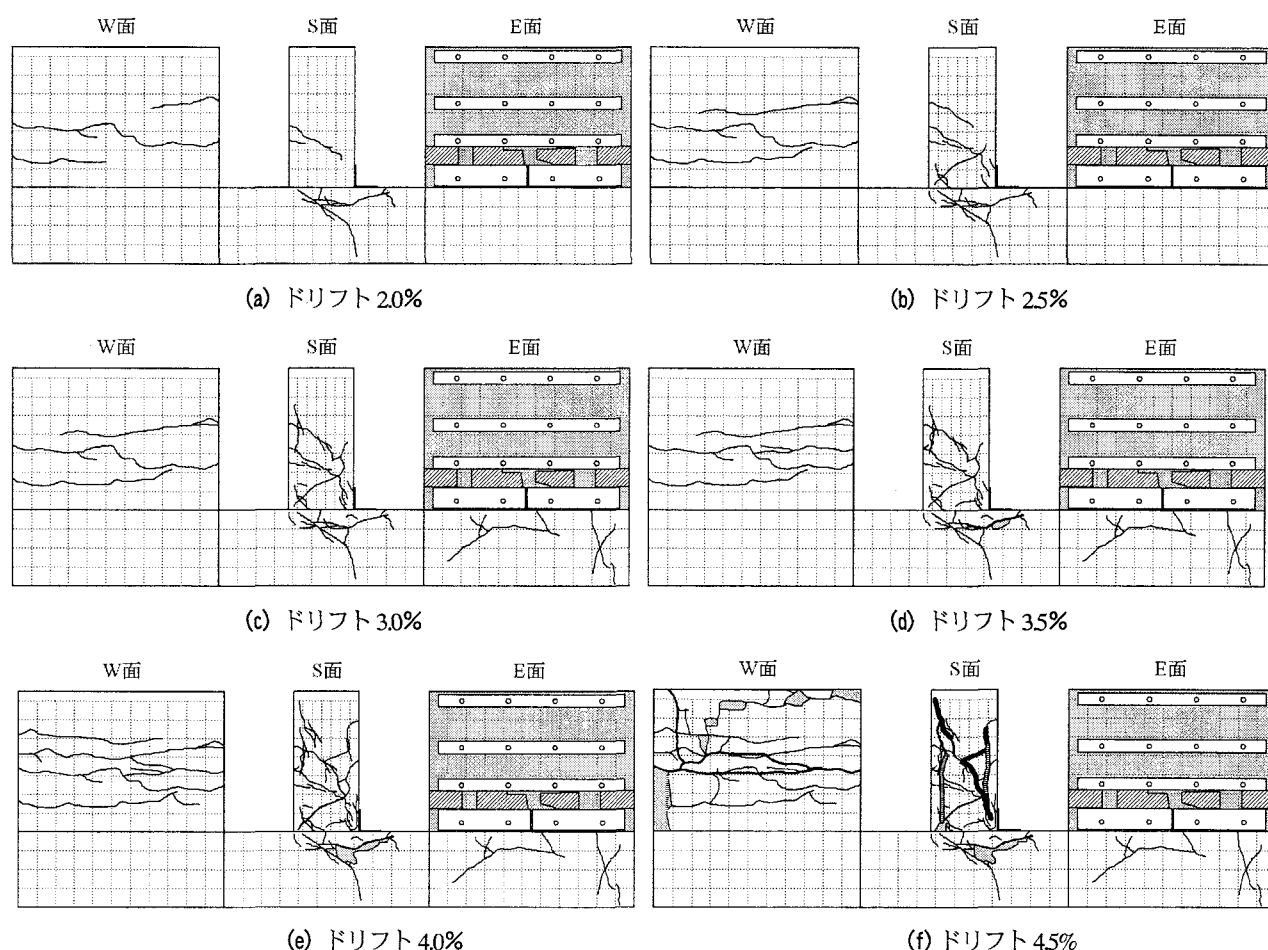


図-3 CFRPシート4層で耐震補強した場合の損傷状況

拘束する役割を果たしている。

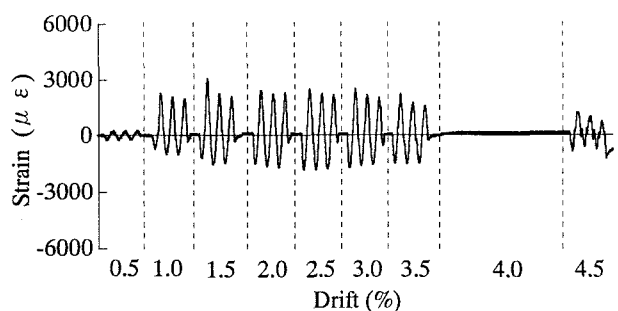
ドリフト 4.0% 載荷になると、E面の基部から 380mm の位置を起点としたせん断ひび割れが、表面から 50mm の深さをまっすぐ下に向かって伸び、また、E面の基部から約 200mm の高さからはW面基部へ向かって斜めに伸びるせん断ひび割れが顕著となる。このため、W面方向に載荷すると、このせん断ひび割れ面を境として側壁上部が水平移動するようになる。それと同時に、せん断ひび割れは側壁E面側に沿って上方へ進展し、基部から約 600mm の高さまで達する。これは、E面を CFRP シートで耐震補強したため、せん断ひび割れが側壁を貫通し得ず、側壁の主鉄筋に沿って上方へ進展したものである。さらに、W面の基部から約 700mm の高さからも、E面基部に向かって顕著な斜めせん断ひび割れが生じるようになる。

ドリフト 4.5% 載荷になると、せん断破壊面の成長が著しくなり、3 サイクル目では、E面側及びW面側の主鉄筋が、側壁のせん断変形により横ずれし、基部から約 600mm の高さまでの区間で面外方向にはらみ出して鉛直荷重を支持できなくなり、側壁全体が紡錘形に大きく変形し、水平耐力が急速に低下したため、ここで載荷を

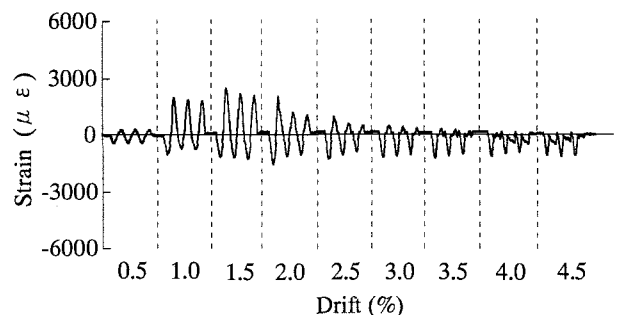
打ち切った。

図-4(a)に側壁基部から 150mm 位置における CFRP シート表面の軸方向ひずみを示す。図-4(b)(c)には、比較のため、後述する CFRP シート 8 層で耐震補強した場合や CFRP シート 4 層と拡張式アンカーで耐震補強した場合の結果も併せて示している。これによると、CFRP シートのひずみは、ドリフト 0.5% 載荷では引張側および圧縮側共に $200\mu\epsilon$ 程度と小さいが、ドリフト 1.0% 載荷になると引張側で $2000\mu\epsilon$ 程度、圧縮側で $1000\mu\epsilon$ 程度と大きくなり、ドリフト 1.5% 載荷になると引張側で $2000\mu\epsilon$ 程度、圧縮側で $1500\mu\epsilon$ 程度となる。しかし、これ以降、載荷変位を増加させても CFRP シートに生じるひずみは増加していない。これは、側壁下端での塑性ヒンジの生成により、曲げに抵抗する CFRP シートの負担がこれ以上増加しなかったためと考えられる。なお、CFRP シートは、引張に対して抵抗すると同時に、圧縮に対しても抵抗していることが確認される。

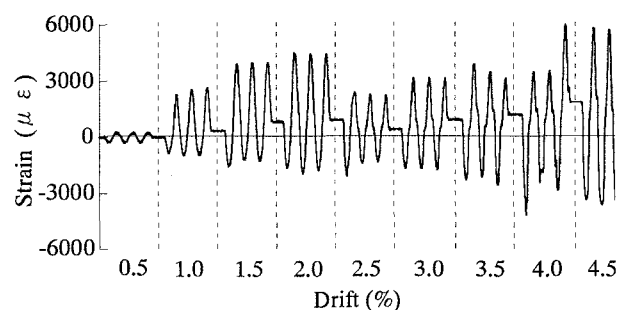
そして、ここで重要な点は、CFRP シートで補強した側壁内側を起点とするひび割れは発生しておらず、また側壁外側を起点とするひび割れも CFRP シートのある側壁内側面には進展していないことから、CFRP シー



(a) CFRPシート4層で耐震補強した場合



(b) CFRPシート8層で耐震補強した場合



(c) CFRPシート4層+拡張式アンカーで耐震補強した場合

図-4 CFRPシート表面のひずみ (基部から150mm位置)

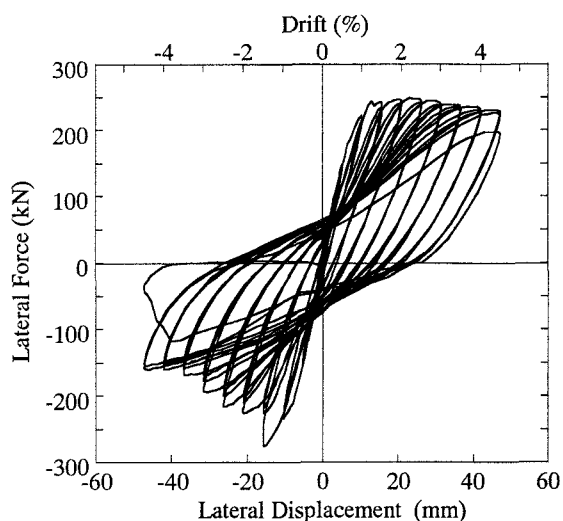
トは側壁の耐力を増加させるだけではなく、CFRPシートを貼り付けた面でのひび割れを抑制する効果を有していることである。

(2) 履歴特性

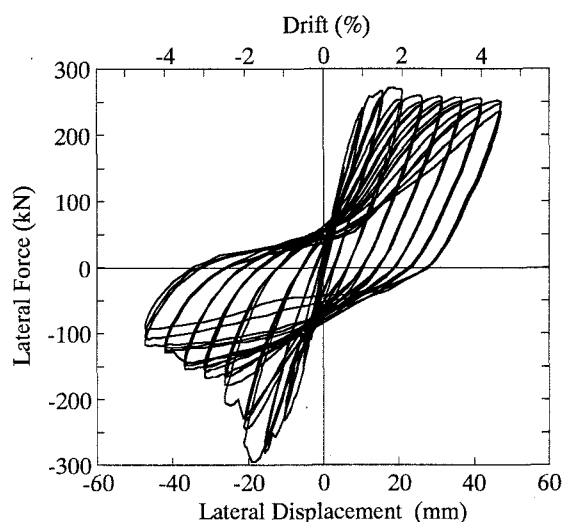
図-5(a)に荷重作用点における水平力～水平変位の履歴を示す。図-5(b)(c)には、比較のため、後述するCFRPシート8層で耐震補強した場合とCFRPシート4層+拡張式アンカーで耐震補強した場合の履歴も併せて示している。また、ここでは、図-1に示すE面(側壁内側)向きの荷重を正、W面(側壁外側)向きの荷重を負としている。

これによると、側壁は、正側の荷重では、荷重ドリフトが約1.0%になると塑性化し、以後、荷重ドリフト4.0%までほぼ安定した耐力を保っている。最大耐力は248.1kNである。

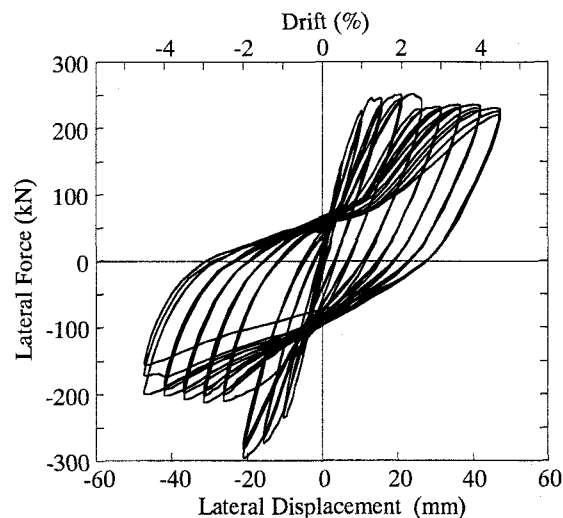
一方、負側の荷重では、荷重ドリフトを1.0%、1.5%と増加させると、耐力も234.6kN、276.1kNと増加していくが、ドリフト1.5%荷重の2サイクル目になると



(a) CFRPシート4層で耐震補強した場合



(b) CFRPシート8層で耐震補強した場合



(c) CFRPシート4層+拡張式アンカーで耐震補強した場合

図-5 水平力～水平変位の履歴

226.1kNと最大水平耐力276.1kNの81.9%に低下する。これは、上述したようにドリフト1.5%荷重になるとCFRPシートが壁面およびL型鋼材から剥離を始めたことによると考えられる。その後、負側の水平耐力は、荷重変

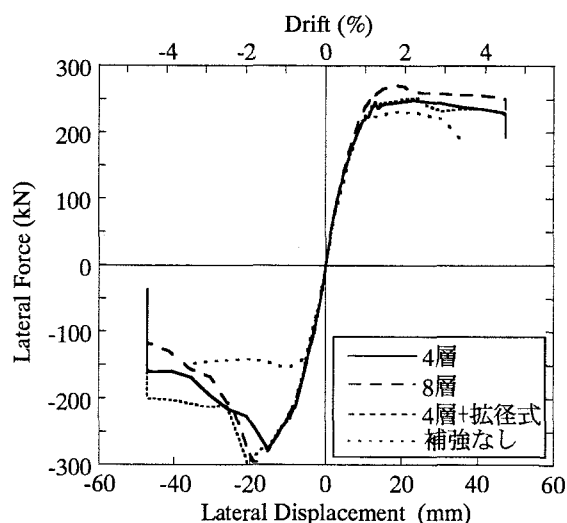


図-6 水平力～水平変位履歴の包絡線

位振幅の増大とともに漸減し、ドリフト 45% 載荷の 1 サイクル目では 160.1kN と最大耐力の 58.0% にまで低下する。前述のように、3 サイクル目の載荷ではせん断破壊状態となり、水平耐力は 36.7kN と最大耐力 276.1kN の 13.3% にまで低下する。

図-6 に水平力～水平変位履歴の包絡線を示す。比較のため、別途報告した³⁾無補強の場合、後述する CFRP シート 8 層で耐震補強した場合及び CFRP シートと拡張式アンカーで補強した場合の包絡線も併せて示している。

無補強の場合の正側、負側の最大耐力はそれぞれ 231.2kN, 155.8kN であったが、これに比して、CFRP シート 4 層で耐震補強すると、正側では 7%、負側では 77% も最大水平耐力が増加する。CFRP シートが引張に抵抗する負側の耐力向上が著しいことがわかる。また、正側の水平耐力は、無補強の場合には側壁のせん断破壊に伴って大きく低下するが、CFRP シートで耐震補強した場合にはドリフト 45% 載荷まで安定している。一方、負側の水平耐力は、ドリフト 15% 載荷以降、耐力低下が進むものの、ドリフト 35% 載荷時点でも無補強の場合と同等以上の耐力であり、ドリフト 45% 載荷の 1 サイクル目までこの耐力を維持している。

4. CFRP シート 8 層で耐震補強した場合

(1) 損傷の進展

側壁の E 面側を CFRP シート 8 層で耐震補強した場合の損傷の進展を図-7 に示す。なお、ここでは、CFRP シート 4 層で耐震補強した場合と異なり、L 型鋼材を下スラブに固定するアンカーボルトの径が大きく、また定着長も長いことから、下スラブには損傷が生じなかったために、下スラブは示していない。

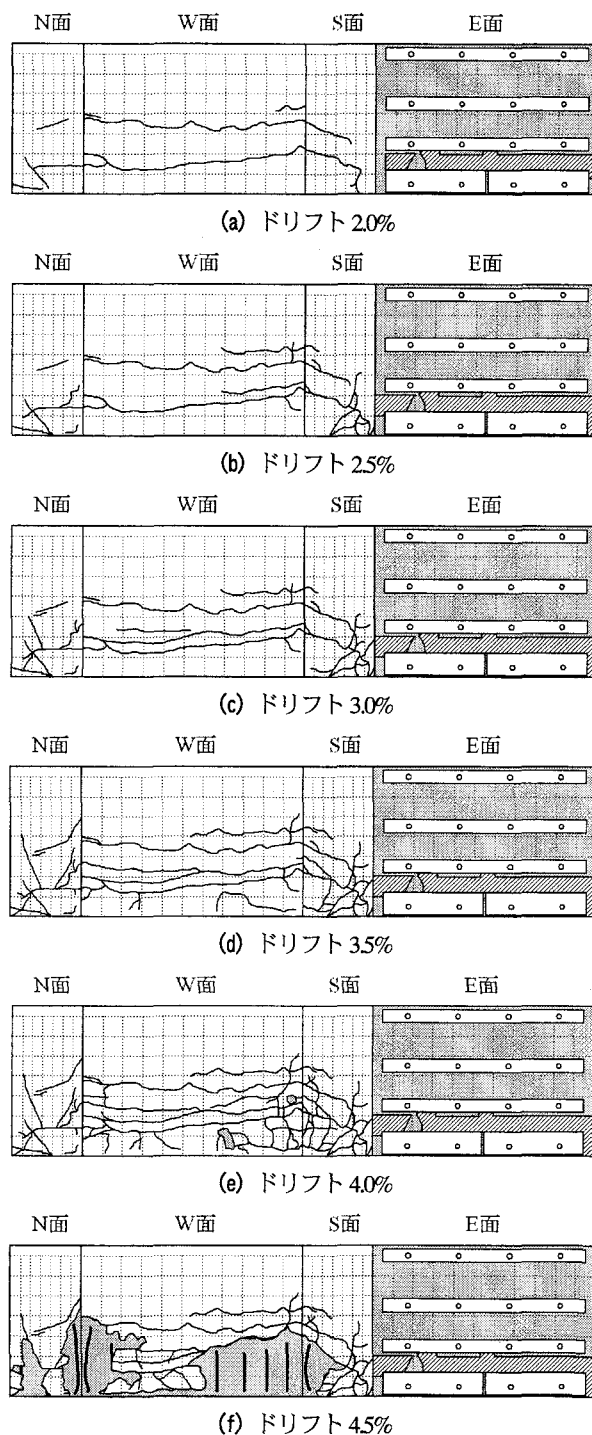


図-7 CFRP シート 8 層で耐震補強した場合の損傷状況

これによると、ドリフト 1.0% 載荷では側壁 W 面の基部から 200mm および 400mm 付近に水平曲げひび割れが生じ、ドリフト 2.0% 載荷になると、これらを起点として徐々に斜めひび割れが側壁躯体内部へ進展するようになる。また、CFRP シート 4 層で補強した場合と同様、ドリフト 1.0% 載荷になると剥離音とともに L 型鋼材の上部で CFRP シートが壁面から剥離し始め、ドリフト 2.0% 載荷になると剥離領域も拡大していく。

ドリフト 2.5% 載荷になると、CFRP シートと L 型鋼材の鉛直面との付着が切れ、W 面方向に載荷すると、壁面

と L 型鋼材との間に 5mm 程度の隙間が生じるようになる。これは、L 型鋼材の下スラブへの固定度が高く、L 型鋼材が側壁の回転変形に追従できないことを示している。この時、L 型鋼材を側壁に固定しているアンカーの頭部は塑性変形領域にあると考えられる。

なお、前述の CFRP シート 4 層で耐震補強した場合には、既にドリフト 2.0% 載荷から下スラブにも W 面基部を起点とするひび割れが入ったが、CFRP シート 8 層で耐震補強した場合には、L 型鋼材を下スラブに固定するアンカー径が 25mm と大きく、アンカー長も 195mm と長くしたため、このようなひび割れは生じていない。

ドリフト 3.5% 載荷になると、W 面基部から 200mm と 400mm 付近から入った斜めひび割れが E 面基部に達すると同時に、これ以外にも S 面や N 面には複数の斜めひび割れが生じる。

ドリフト 4.0% 載荷になると、W 面の基部から 350mm 高さを起点とし E 面基部に至るせん断破壊面が顕著となり、E 面方向に載荷すると、この面を境に側壁上部が下部に対して 11mm 程度水平移動するようになる。

ドリフト 4.5% 載荷になると、主鉄筋もせん断破壊面で大きく横ずれし、W 面では基部から約 300mm の高さまでかぶりコンクリートが大きく剥落したため、ここで載荷を打ち切った。

前出の図-4(b)には側壁基部から 150mm 位置における CFRP シート表面の軸方向ひずみを示している。これによると、CFRP シートのひずみは、ドリフト 0.5% 載荷までは引張側および圧縮側共に $400\mu\epsilon$ 程度以下しか生じていないが、ドリフト 1.0% 載荷からドリフト 2.0% 載荷の 1 サイクル目までの間では引張側で $2000\mu\epsilon$ 程度、圧縮側で $1500\mu\epsilon$ 程度を生じる。しかし、ドリフト 2.0% 載荷の 2 サイクル目以降、ひずみは載荷とともに徐々に減少していく。これは、前述したように CFRP シートが壁面から剥離したり、CFRP シートと L 型鋼材間の付着切れが生じたためである。これにより、CFRP シートによる曲げ補強の効果が失われている。ただし、CFRP シートと L 型鋼材間の付着が切れたドリフト 2.0% 載荷の 2 サイクル目以降も $1000\mu\epsilon$ 程度の圧縮ひずみが生じている。これは CFRP シートと L 型鋼材間の付着が切れた後も、CFRP シートの先端が下スラブに接触しており、CFRP シートに圧縮ひずみが生じたためである。

(2) 履歴特性

図-5(b)は荷重作用点における水平力～水平変位の履歴である。正側では載荷ドリフト約 1.0% で塑性化し、ドリフト 4.5% 載荷までほぼ安定した耐力を保つ。最大耐力は 271.5kN である。ドリフト 2.5% 載荷では、252.0kN と最大耐力からわずかに 7.2% 程度耐力が低下するが、これは前述した CFRP シートと L 型鋼材間での付

着切れが圧縮にも影響を及ぼしていることによる。

これに対し、負側では載荷ドリフトを 1.0%、1.5% と増加させるにつれて耐力は徐々に増加し、ドリフト 2.0% 載荷で最大 295.0kN となる。しかし、ドリフト 2.0% 載荷の 1 サイクル目では 246.0kN と最大耐力の 83.4% に、またドリフト 2.5% 載荷の 2 サイクル目には 177.9kN と最大耐力の 60.3% にまで徐々に低下する。これらは、前述したように CFRP シートの壁面からの剥離や CFRP シートと L 型鋼材間の付着切れが進行したことによる。

図-6 に示した水平力～水平変位履歴の包絡線によると、CFRP シート 8 層で耐震補強した場合の最大耐力は、CFRP シート 4 層で耐震補強した場合と比較して、正側では 9%、負側では 7% とごくわずかしこ増加していない。また、負側の耐力は、CFRP シートによる引張力負担の増加による効果がみられるものの、ドリフト 2.0% 載荷以降では、引張力の負担が増加したことによる CFRP シートの壁面からの剥離や CFRP シートと L 型鋼材間の付着切れの影響が大きく、CFRP シート 4 層で耐震補強した場合よりも低下する現象が見られる。

5. CFRP シート 4 層と拡張式アンカーで耐震補強した場合

(1) 損傷の進展

側壁 E 面を CFRP シート 4 層と拡張式アンカーで耐震補強した場合の損傷の進展を図-8 に示す。ドリフト 1.0% 載荷で側壁 W 面の基部から約 200mm および 400mm 高さに水平曲げひび割れが生じ、ドリフト 1.5% 載荷になると、これらが E 面基部を目指して進展し始める。また、ミシミシという剥離音を伴って CFRP シートが壁面から剥離し始める。

ドリフト 2.0% 載荷になると、W 面の基部から 270mm の高さを起点とするせん断ひび割れが、側壁外側の主鉄筋位置まで貫入されている拡張式アンカーの先端に沿って下方へ伸び、基部から約 200mm の高さに達すると、ここから側壁内側に向かって水平方向へ進展するようになる。この段階で CFRP シートと L 型鋼材間の付着が切れ始める。

ドリフト 2.5% 載荷になると、せん断ひび割れはさらに内側へと進展する。なお、このようにせん断ひび割れが水平方向へ進展したのは、CFRP シートを L 型鋼材とフラットバーとで固定した場合、L 型鋼材が基部から 120mm の区間における側壁躯体のせん断変形を拘束するため、載荷ドリフトが増加すると、側壁は L 型鋼材と最下端のフラットバーとの間でせん断変形するようになるためである。

ドリフト 3.0% 載荷では、L 型鋼材とフラットバーとの

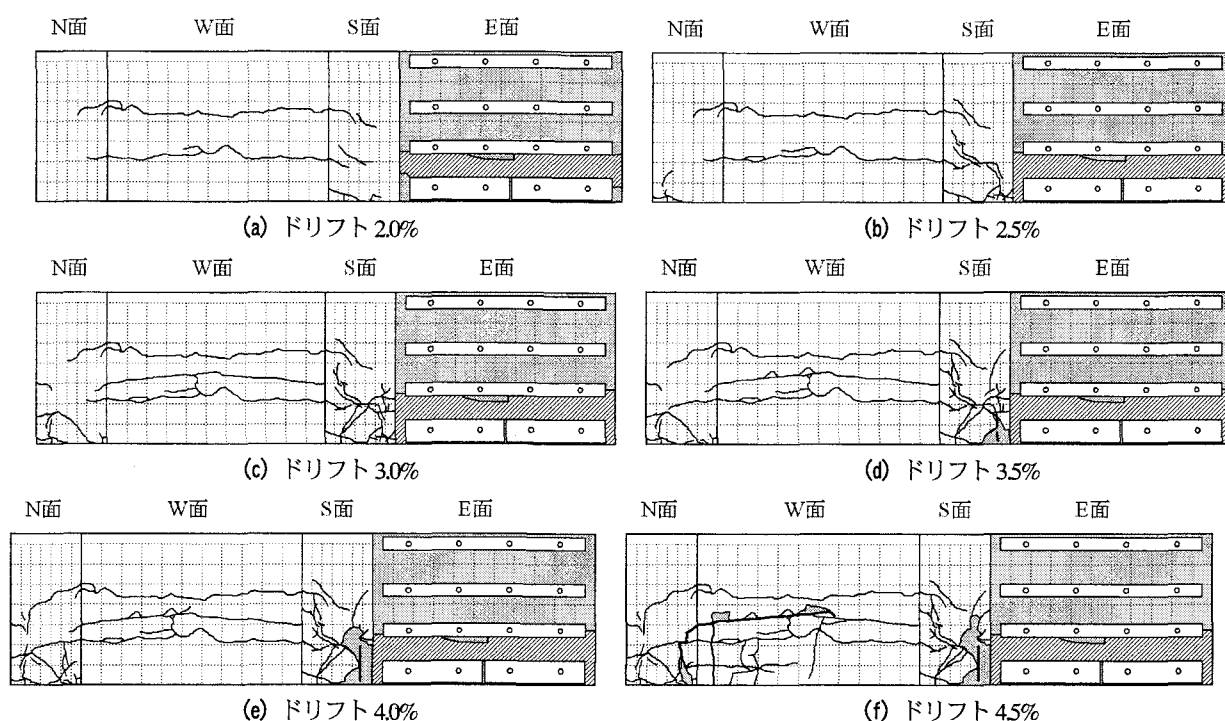


図-8 CFRPシート4層+拡張式アンカーで耐震補強した場合の損傷状況

間で壁面から剥離した CFRP シートが面外方向へはらみ出す徴候が見られる。これは、後述するように、S面のE面側下端部でのかぶりコンクリートの剥落および CFRP シートを壁体に固定する拡張アンカーの緩みに起因するものである。

ドリフト 3.5% 載荷になると、E 面方向に載荷した際に生じる側壁下端での曲げせん断変形によって、E 面側の S 面に最も近い主鉄筋が S 面側へ大きくはらみ出すようになる。

ドリフト 4.5% 載荷では、せん断破壊面を境として側壁上側が下側に対して水平方向に 10mm 程度ずれるようになり、E 面側の下端部から最下端のフラットバー間では、E 面側の S 面に最も近い主鉄筋が S 面側へはらみ出すことによるかぶりコンクリートの剥落に伴い、はらみ出した CFRP シートが局所的ではあるが鉛直方向に縦割れする。

なお、L 型鋼材を側壁に固定する 4 本の拡張アンカーのうち S 面に最も近い位置にある 1 本は、側壁のせん断変形が顕著となるドリフト 3.5% 載荷時に座金の緩みが観察され、ドリフト 4.5% 載荷終了時に壁体表面位置で破断しているのが確認されている。これは、側壁の回転変位により壁体と L 型鋼材間に作用する曲げ引張力に対してアンカー径が不足していることを示している。

図-4(c) に CFRP シート表面の軸方向ひずみを示す。これによると、CFRP シートのひずみは、載荷ドリフト 1.0~2.0% では載荷ドリフトの増大とともに増加するが、ドリフト 2.5% 載荷で CFRP シートと L 型鋼材間の付着切

れに伴って低下する。しかし、ドリフト 3.0% 載荷以降、再度増加し始め、引張側および圧縮側共、ドリフト 3.5% 載荷では $3100\mu\epsilon$ 、ドリフト 4% 載荷では $6000\mu\epsilon$ 程度となる。これは、前述の理由によってはらみ出した CFRP シートに曲げが作用したためで、載荷ドリフトが 3.5%、4.0% と増加するにつれてひずみも増加する。ただし、このひずみは、CFRP シートの規格破断ひずみ $14000\mu\epsilon$ を十分な安全度を持って下廻っている。

(2) 履歴特性

図-5(c) に荷重作用点における水平力～水平変位の履歴を示す。これによると、正側では載荷ドリフトが約 1.0% になると塑性化し、以後、ドリフト 4.5% 載荷までほぼ安定した耐力を示す。最大耐力は 251.4kN である。ドリフト 3.0% 載荷になると 230.5kN と最大耐力からわずかに 8% 低下するが、これは前述した L 型鋼材の上部で生じた CFRP シートの面外変形に起因するものである。

これに対し、負側では載荷ドリフトを 1.0%、1.5% と増加させるにつれて耐力は徐々に増加し、ドリフト 2.0% 載荷で最大 295.7kN となる。しかし、ドリフト 2.5% 載荷になると 212.0kN と最大耐力の 71.7% に低下する。これは、CFRP シートと L 型鋼材間の付着が切れたためである。その後、ドリフト 4.0% 載荷まではこのレベルの耐力を保っているが、ドリフト 4.5% 載荷の 2 サイクル目には W 面側の主鉄筋が横ずれによって大きく変形する結果、耐力は最大耐力の 57.6% にまで低下する。

図-6 に示した水平力～水平変位履歴の包絡線による

と、CFRP シート 4 層+拡張式アンカーで耐震補強した場合の正側、負側の最大耐力は、それぞれ 251.4kN, 295.7kN となり、CFRP シート 4 層で耐震補強した場合に比して、正側では 1%, 負側では 7%だけ増加する。また、負側の耐力は、CFRP シート 4 層及び 8 層で耐震補強した場合には、最大耐力到達後に大きく低下するが、CFRP シート 4 層+拡張式アンカーで耐震補強した場合には、ドリフト 4.0%まで最大耐力の 70%程度を保つ。

6. 結論

共同溝側壁に対するCFRPシートによる耐震補強の効果を検討するために、ハンチを省略した部分実大試験体の壁内面のみにCFRPシートを貼り付け、繰り返し載荷実験を行った。本実験の結果得られた結論は以下の通りである。

1) CFRPシートを用いると、耐震補強を施さない場合と比較して、負側（側壁外側への載荷）への耐力が増加するとともに、側壁の内側から曲げひび割れが生じるのを防止できる。

2) CFRPシート4層をD16×130mmのアンカーで壁体に固定して耐震補強した場合、側壁外側から発生したせん断ひび割れが側壁内側へ貫通するのを妨げるが、側壁内側で主鉄筋またはアンカー先端を結ぶ面に沿ってひび割れが上方へ伸び、最終的にせん断破壊する。この時、L型鋼材をD16×130mmのアンカーで固定した下スラブにも損傷が生じる。変形性能は、耐震補強しない場合よりもドリフトで1.0%増加し、4.5%ドリフトとなる。

3) CFRPシート8層をD25×195mmのアンカーで壁体に固定して耐震補強した場合、負側の水平耐力はCFRPシート4層で耐震補強した場合の107%と微増にとどまった。ドリフト4.5%でせん断破壊面での主鉄筋の横ずれにより破壊した。この時、L型鋼材を下スラブに定着するアンカーもD25×195mmとしたため、下スラブには損傷が生じなかった。変形性能は、CFRPシート4層で耐震補強した場合と同程度である。

4) CFRPシート4層を拡張式アンカーM12×280mmで壁体に固定して耐震補強した場合、側壁の外側に近いアンカー先端に沿ってせん断ひび割れが生じ、これが側壁内側に向かって進展した後、せん断破壊面での主鉄筋の横ずれにより破壊する。変形性能は、CFRPシート4層及び8層で耐震補強した場合と同程度であるが、ドリフト4.0%まで安定した耐力を保持する。

5) CFRPシートで耐震補強した場合には、側壁基部付近のCFRPシートが壁面から剥離したり、CFRPシートとL型鋼材の付着が切れたりすることにより、負側の耐力が徐々に低下していく。しかし、フラットバーおよびアンカーによるCFRPシートの固定は、CFRPシートの壁面からの剥離進展防止に有効である。

6) 本実験の範囲内では、面外方向に作用するせん断力に対してCFRPシートの破断は見られておらず、コンクリート壁体面に適切な層数のCFRPシートを適切な方法で定着固定することにより、コンクリート壁体面外方向の耐震補強の可能性が示された。

謝辞：本研究は(財)土木研究センターに設けられた「土木構造物の耐震工学的課題に関する検討委員会」の検討の一部として、東京工業大学において行った実験結果を取りまとめたものである。本実験に際して御尽力頂いた星隈順一前幹事長をはじめ、試験体のCFRPシートによる補強では材料の提供と施工を担当頂いた三菱化学産資(株)殿他、ご関係の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中村剛, 川島一彦, 渡邊学歩, 江寄順一, 鈴木猛康: 共同溝の耐震性及びアンカーバーを用いた耐震補強法に関する検討, 第7回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 2004.1