

阪神・淡路大震災における被災 RC・SRC 造建物の復旧技術概要

関 松太郎
谷 口 英 武
(本店 建築工務部)
坂 庭 興 一
(神戸支店 建築工務部)

1. はじめに

阪神・淡路大震災では鉄筋コンクリート (RC) 造および鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 造建物に甚大な被害が生じた。建物の被害程度は、簡単な補修で済む軽微、小破の被害、比較的大がかりな補修・補強が必要な中破・大破の被害、補修、補強が不可能な倒壊に分類される。当社では被災直後に緊急調査を行い上記の被害程度を特定し、当社で作成した「被災建物の恒久復旧のための耐震補強マニュアル」¹⁾ 等に基づいて補修・補強方法を立案し復旧工事を実施した。補修・補強計画の立案に際しては、破壊部位、破壊形式などが多種多様であることより現場の実状に合った方法を採用している。本報告は、今回の地震において被災建物に用いられた補修・補強例を紹介する。

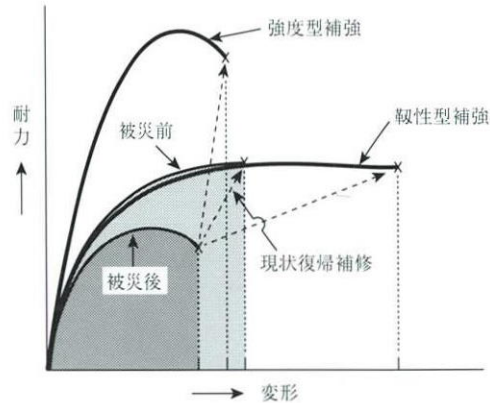


Fig. 1 被災建物の復旧の考え方
Retrofit Conception about Damaged Building

2. 復旧方針

復旧の基本的考えが Fig. 1 に示されている。被災によって部材、すなわち建物全体の耐力や変形能が被災前より低下していることは明らかである。被害の程度によって図中に示されている被災後の低下の割合は異なる。復旧の基本的考えは、被災前の状態に戻す「補修」と被災前より耐震性を上げる「補強」に大きく分類される。補強には耐力を増加させる「強度型補強」と変形能を増加させる「靱性型補強」がある。これらを具体的に実現するために各種の補修・補強工法が提案されている。Table 1 は文献 1) に載せられている補強方法の種類と特徴である。この表は被災を受けない建物の耐震補強を主眼に考えられたものであり、被災を受けた部材に適用する場合にはひび割れ、コンクリートの剥離、鉄筋・鉄骨の座屈や破断等の補修がさらに必要となる。実際の工事は部材の被害ランクを考慮した方法を採用することになるが、それらの手法を詳細に記述した「兵庫県南部地震被災度判定体制支援会議の補強事例マニュアル」²⁾ も参考にしている。

3. 補修・補強例

3.1 耐震壁の補修・補強例

3.1.1 エポキシ樹脂補修 Fig. 2 にエポキシ樹脂補修の方法を示す。壁や床のひび割れ幅は被害の程度により異なり補修方法も若干異なってくる。鉄筋等の損傷はないが大きなひび割れによってコンクリートが剥落する場合

Table 1 補強工法の種類と特徴
Kinds and Characteristics on Retrofit Technique

部位	補強工法の種類	特 徴	
		耐震性・居住性	施工性
壁	RC壁 両側柱付き壁 そで壁	・強度大 ・変形能小 ・重量大 ・遮音性大	・現場打ち ・作業スペース小
	鉄骨ブレース 	・強度大 ・変形能やや大 ・軽量 ・窓が大きくとれる	・プレファブ ・建込み重機要 ・広いスペース要
	鉄骨偏心ブレース せん断パネル	・強度やや大 ・変形能大 ・軽量 ・窓が大きくとれる	同上
	鉄板 開口	・強度やや大 ・変形能やや大 ・軽量 ・窓が大きくとれる	同上
柱	炭素繊維巻き 開口	・強度小 ・変形能大 ・耐火被覆要	・巻付け機械必要 ・手作業可能
	鉄板巻き 開口	・強度小 ・変形能大 ・耐火被覆要	・現場溶接要 ・重機必要
	炭素繊維巻き 	・強度小 ・変形能大 ・耐火被覆要	・手作業可能
梁	炭素繊維巻き 	・強度小 ・変形能大 ・耐火被覆要	・手作業可能
	鉄板巻き 	・強度小 ・変形能大 ・耐火被覆要	・重機必要

は図に示すように無収縮モルタルを剥落部分に充填する。ひび割れはエポキシ樹脂を注入器を用いて充填する。このとき、ひび割れが壁の裏側に貫通しているときは樹脂が漏れないような処置や注入時には樹脂が十分充填できるように低い圧力かける注入方法が用いられている。Photo 1-1, Photo 1-2 に、耐震壁と床スラブのひび割れ補修状況をそれぞれ示す。

3.1.2 RC 造耐震壁の増設 Fig. 3 に RC 造耐震壁を新しく設ける方法を示す。9m スパンの既存の柱と梁の中に壁厚 20cm の RC 造耐震壁を設けた。補強詳細の特徴は既存の柱と梁の 4 周にアンカー筋を 10d (d: アンカー筋の径) の深さに定着する。定着方法は樹脂による方法を用いている。壁版内へのアンカーの定着長さは 25d とした。壁筋は縦、横筋とも D13-@200 ダブルチドリである。壁コンクリートには既存の躯体のコンクリート強度以上のコンクリートを打設するが、梁下から 20~30mm は乾燥収縮によるひび割れ発生を防ぐため無収縮グラウトモルタルを圧入する。

3.1.3 SRC ブレースの補修 (その 1) Fig. 4 は SRC ブレースの鉄筋が破断した被害の補修方法を示す。はつりを行った結果、鉄骨には被害がないので鉄筋のみを取替える補修を行った。コンクリートが剥落している部分をはつり、鉄筋を切断した後エポキシ樹脂でひび割れを補修する。その後、新しい主筋と既設の鉄筋とを 10d の長さによりフレアー溶接し、さらに新しい帯筋を配し最後に普通コンクリートを打設している。Photo 2 は鉄筋を配置した状態を示す。

3.1.4 SRC ブレースの補修 (その 2) SRC ブレースの柱脚側部分が大きく損傷を受け、主筋が破断しているが鉄骨は破断に至っていない被害である。補修方法が Fig. 5 に示されている。損傷部分をはつり、ひび割れにエポキシ注入 (ステップ 1) から、鉄板を巻いて無収縮モルタル

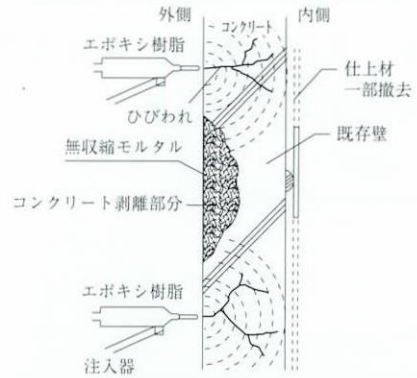


Fig. 2 エポキシ樹脂による補強
Retrofit by Epoxy Injection

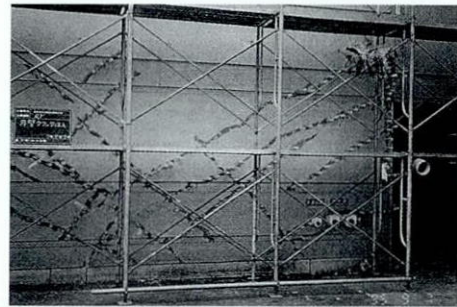


Photo 1-1 エポキシ樹脂による補強 (外壁)
Epoxy Injection of Shear Wall

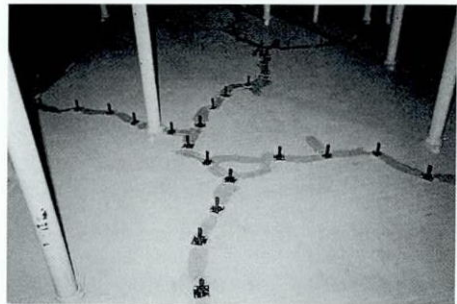


Photo 1-2 エポキシ樹脂による補強 (床スラブ)
Epoxy Injection of Floor Slab

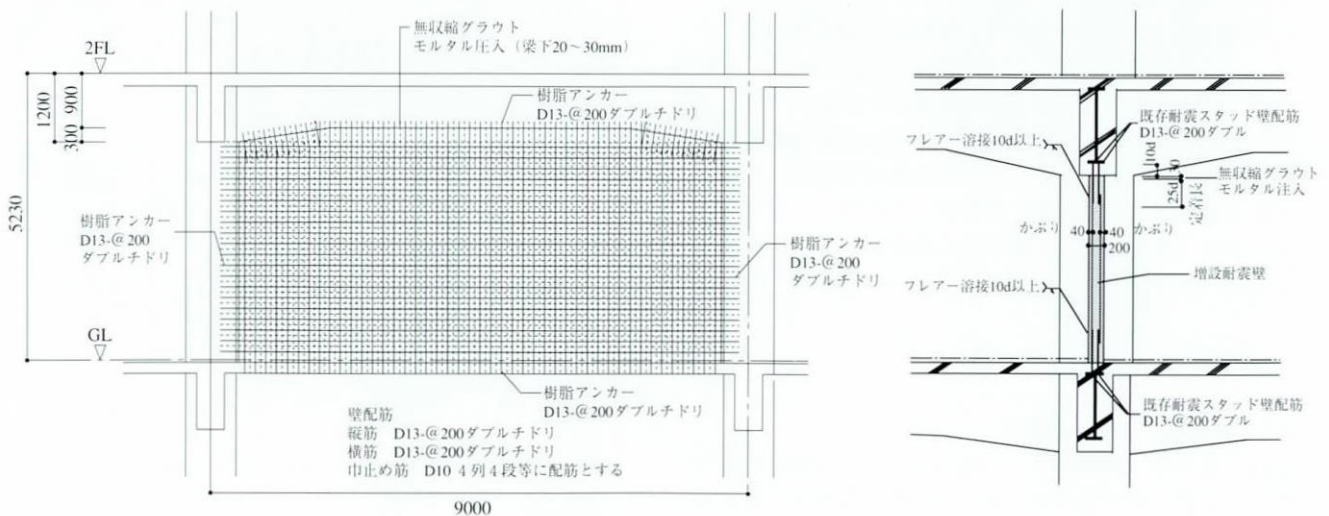


Fig. 3 RC耐震壁増設による補強
Retrofit by New RC Shear Wall

を充填する（ステップ6）までが示されている。Photo 3-1にステップ2、Photo 3-2にステップ6の状況を示す。

3.1.5 SRCブレースの補修（その3） Photo 4-1, 4-2はSRCブレースの被害を示す。鉄筋の破断に加えて鉄骨の継手プレートが破断している。補修方法は、Fig. 6に示すようにブレース端部の継ぎ手部分からサイズアップした新しい鉄骨に取替えている。その後、鉄筋を配置し、主筋は既設の主筋と10dのフレアー溶接をする。ブレースの接合部にも鉄筋による補強を行う。Photo 4-3にコンクリートの打設後の状況を示す。

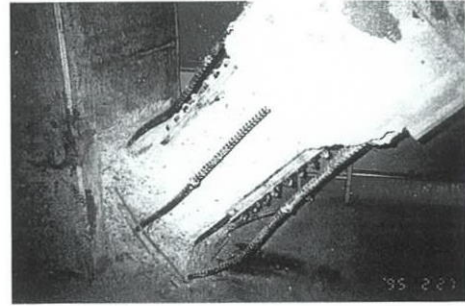


Photo 3-1 損傷部のはつり（ステップ2）
Removal of Damaged Concrete (Step 2)

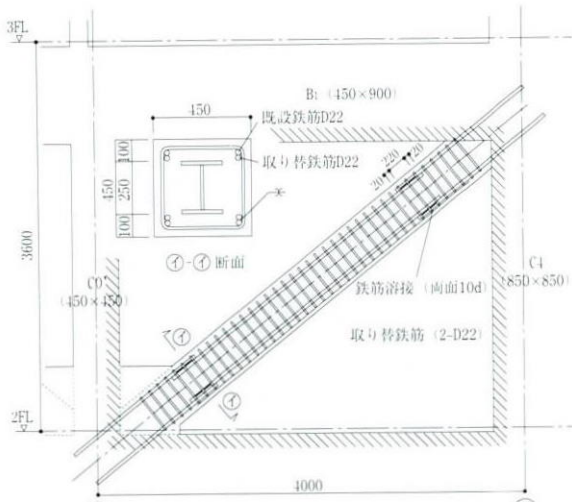


Fig. 4 SRCブレースの補修
Repair of SRC Brace

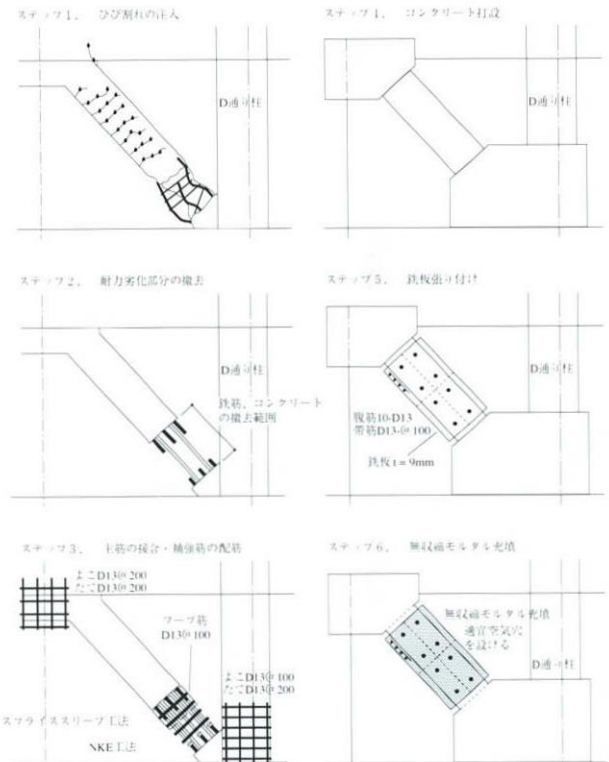


Fig. 5 SRCブレースの補修
Repair of SRC Brace

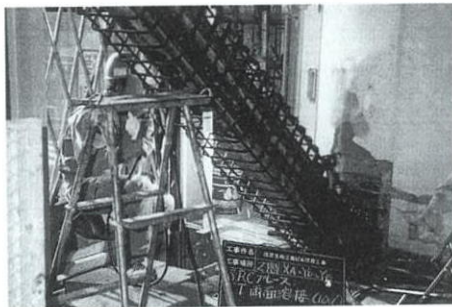


Photo 2 ブレース部の配筋
Detail of Reinforcement



Photo 3-2 鉄板巻（ステップ6）
Jacking by Steel Plate (Step 6)



Photo 4-1 鉄骨ブレースの被害
Damage of SRC Brace

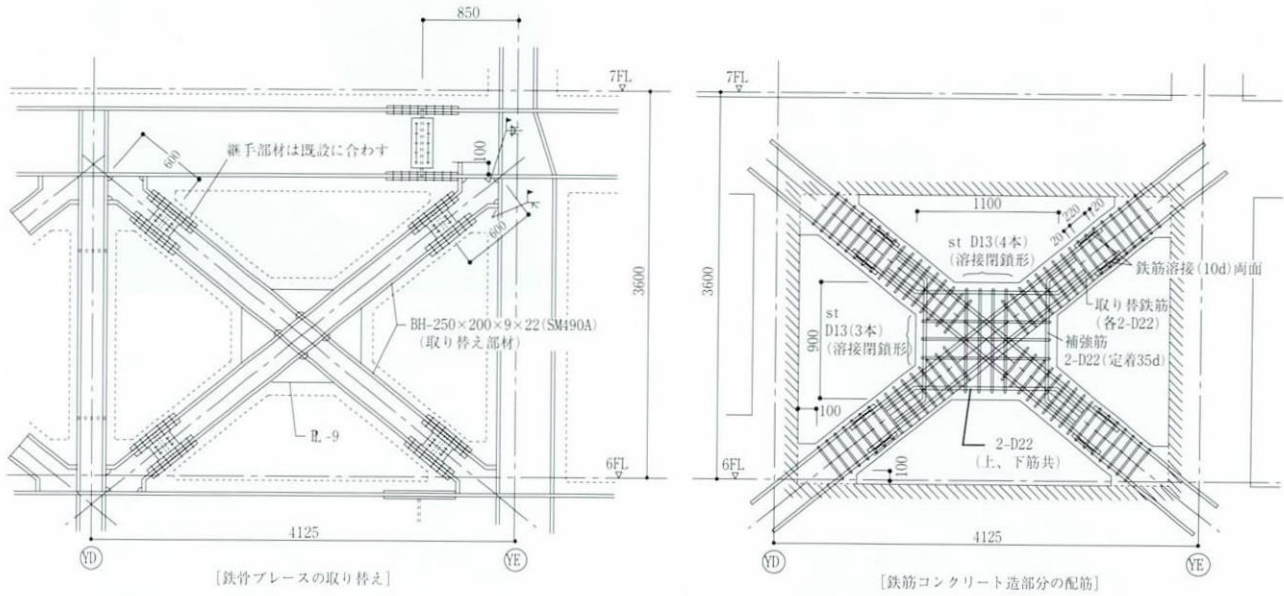


Fig. 6 SRC ブレースの補強
Replacing by New SRC Brace



Photo 4-2 鉄骨ブレースの被害詳細
Detail of SRC Brace's Damage

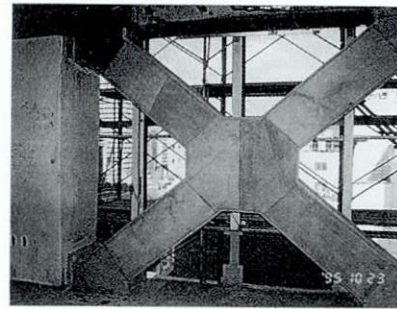


Photo 4-3 コンクリートの打設後
After Concrete Casting

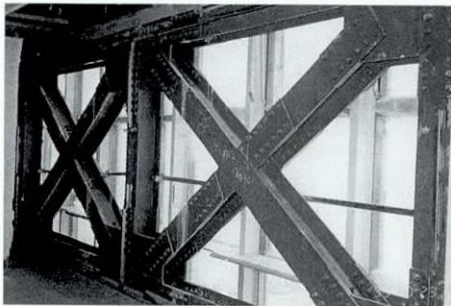


Photo 5 既存フレームに固定されたブレース
New Brace fixed to Existing Frame

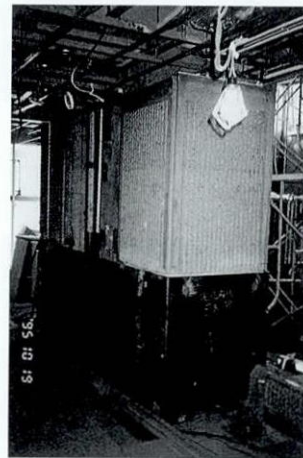


Photo 6 鉄板巻完了状況
After Jacketing by Steel Plate

3.1.6 鉄骨ブレースの新設 既存の柱および梁の間に鉄骨ブレースを新設した補強方法である。Fig. 7に補強の詳細を示す。7.8m スパンなのでブレースを2組設置する。フレーム内に設置する横材、縦材および斜材にはH-250×250×9×14の鋼材を使用している。既存の柱、梁の4周には先端にナット溶接したケミカルアンカーを打ち、鉄骨枠には頭付きスタッドを溶接する。また、鉄骨枠と既存躯体との接合にはスパイラル筋を用いてひび割れ分散と

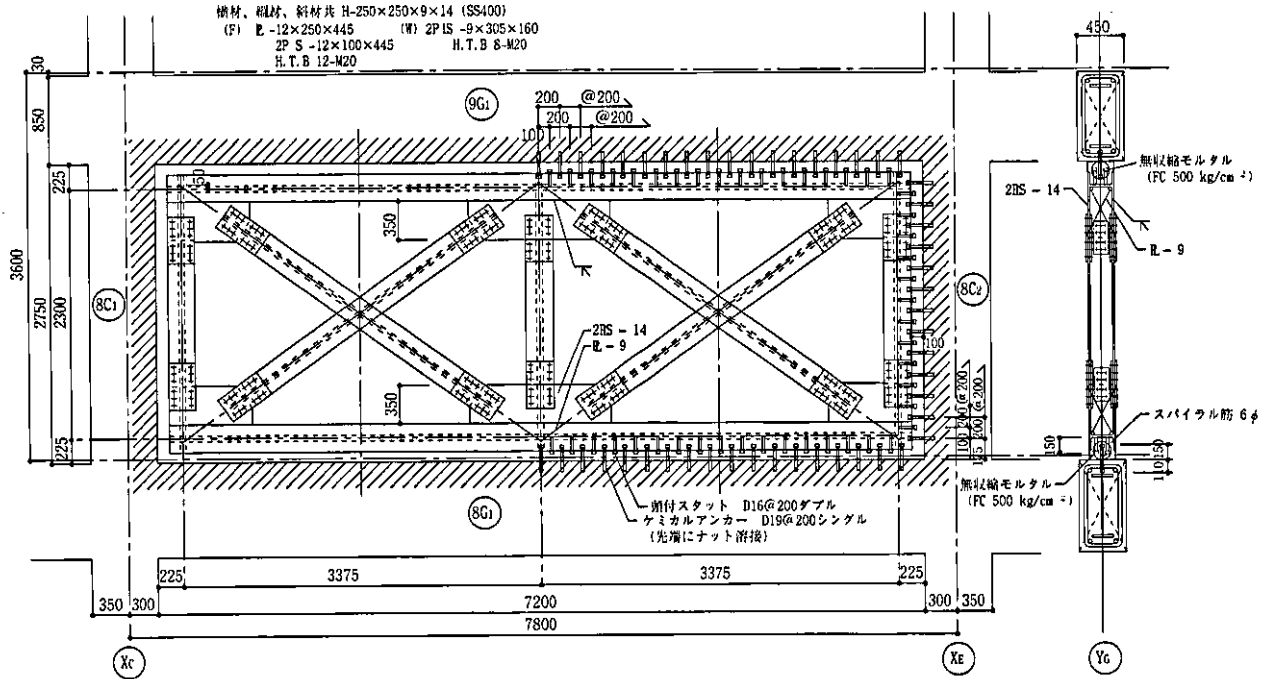


Fig. 7 鉄骨ブレースの新設による補強
Retrofit by New Steel Brace

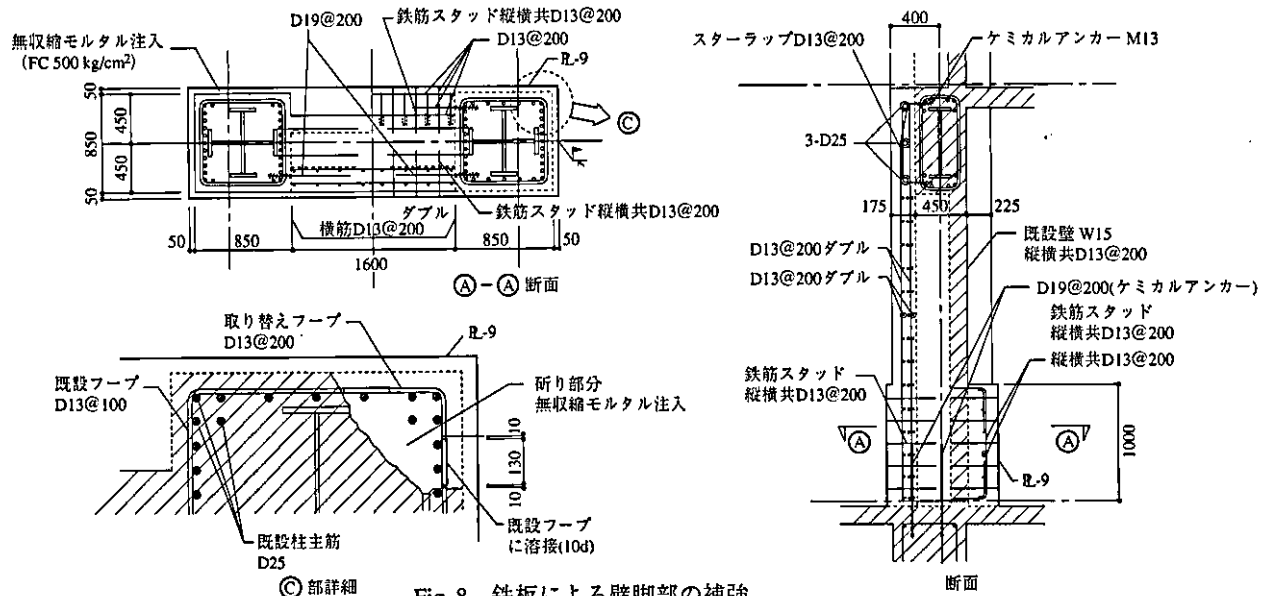


Fig. 8 鉄板による壁脚部の補強
Adding Wall and Jacketing by Steel Plate

せん断力の伝達を向上させ、空隙部は無収縮モルタルを圧入している。Photo 5はブレースの設置が終了した状況を示している。

3.1.7 鉄板による壁脚部の補強 Fig. 8に補強方法を示す。柱はSRC部材、壁版は鉄骨ブレース入りSRC耐震壁である。被害は鉄筋が座屈・破断しコンクリートが大きく剥落した。したがって、ここでは、既存の壁版の厚さを増

し、特に壁脚部ではさらに柱と同じ寸法になるように断面を増大させ、その後に耐震壁の脚部全体を鉄板で巻いて補強した。損傷した柱の主筋やフープは切断し、新しいものと交換し10d以上のフレアー溶接をしている。また、鉄板と内部のコンクリート躯体との隙間(50mm)には無収縮モルタル($F_c=500\text{kgf/cm}^2$)を充填した。Photo 6は鉄板を巻いて補強した状況を示す。

3.2 柱の補修・補強例

3.2.1 断面の増大による補強 Photo 7-1 に RC 柱の中間部が損傷を受けた状況を示す。コンクリートが剥離し鉄筋が座屈している。Fig. 9はその補強方法である。既存の柱の断面を両方向に350mm大きくする方法を採用している。柱の損傷は1~3階に及んでいるので2階と3階の床スラブをはつり、柱の主筋を通して。損傷した部分の圧壊したコンクリートの隙間にエポキシ樹脂を充填しさらに周囲を無収縮モルタルで固めている。ふかした断面のフープは梁下までとする。既存の柱の表面を十分目

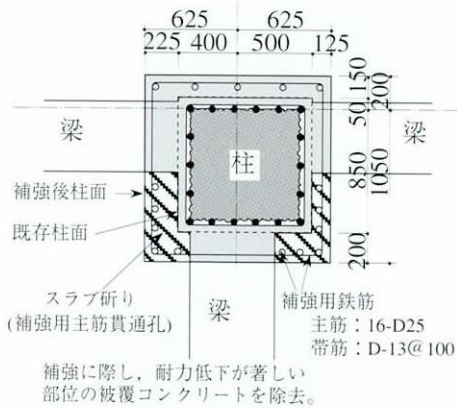
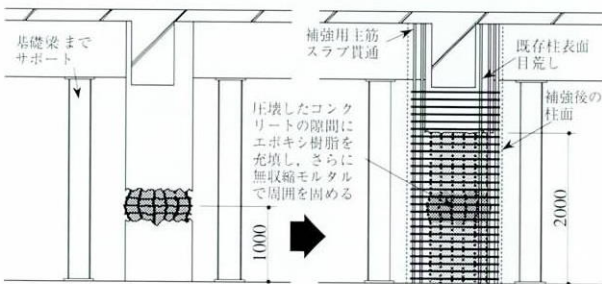


Fig. 9 断面増大による補強
Retrofit by Section Increasing

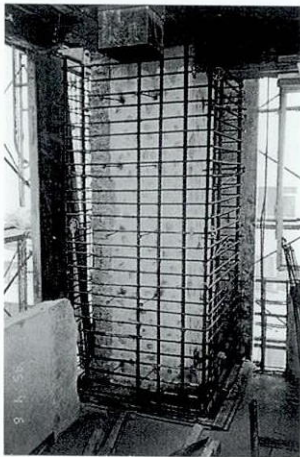


Photo 7-2 新しく設けられた補強鉄筋
Reinforcement Bars Arrangement

荒らした後に鉄筋を配置し、最後にコンクリートを打設する。Photo 7-2はコンクリートを打設する前の配筋状態を示す。

3.2.2 鉄板巻による補強(その1) 地下1階の柱で上階からの SRC 部材がこの柱の途中で RC 部材に切り替わる部分で被害が生じた例である。Fig. 10はその補修方法の概要である。損傷したコンクリート部分はFig. 9と同様な方法で補修した。鉄板を巻く際、既存の壁が存在するので鉄板を巻くのに必要な部分をはつり取り、巻き終わったら既存の壁筋を鉄板に溶接する方法を用いた。鉄板の厚



Photo 7-1 柱の損傷
Damage of RC Column

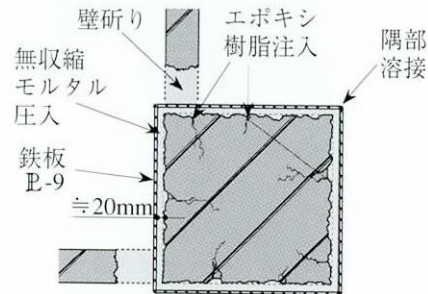


Fig. 10 鉄板巻による補強
Jacketing by Steel Plate



Photo 8 鉄板巻による補強
Jacketing by Steel Plate

さは9mm、鉄板と既存の躯体との隙間は20mmであり無収縮モルタルを圧入している。Photo 8は鉄板を巻き付けた状態を示す。

3.2.3 鉄板巻による補強(その2) Fig. 11にSRC柱の柱脚の鉄板巻補強の詳細を示す。被害は柱脚において柱主筋の破断・座屈が生じコンクリートの大きな剥落が見られた。補強方法は、床面から上の約100cmまで断面内の既存の鉄骨までコンクリートをはつき取り、損傷した鉄筋は切断した後、鉄骨のコア部のひび割れ補修を行い、頭付きスタッドを新たに鉄骨フランジに溶接する。切断除去された部分の新しい主筋はSMBノンジョイント工法を用いて既存の主筋と接合し、新しいフープは10d以上のフレアー溶接をする。厚さ6mm鉄板を周囲に配し既存部との空隙部は普通コンクリート($F_c=270\text{kgf/cm}^2$ 以上)を充填する。

3.2.4 炭素繊維巻による補強 Fig. 12に炭素繊維シートによる補強方法を示す。補強時には既存躯体の4隅の面取り($R=30\text{mm}$)が必要である。炭素繊維シートを下から上に徐々にエポキシ樹脂を含浸させながら手作業で巻いていく。この時、本例ではシート(シート幅は330mm)の円周方向の重ねしきは100mm以上とし柱4面で交互に千鳥配置としている。シートを巻き付けた後はラスモルタル($t=25\text{mm}$)で仕上げを行っている。Photo 9-1は炭素繊維シートを巻き付けた直後の状況である。また、Photo 9-2は炭素繊維ストランドを巻いた例である。シートとスト

ランドではいずれも得られる耐震性能は変わらないが、ストランドの場合は巻き付け精度を上げるために機械を使って巻くのが普通である。

3.3 梁の補修・補強例

共同住宅の玄関の入り口上部の小梁が大きな被害を受けた例である。Fig. 13は鉄板による補強状況を示してい

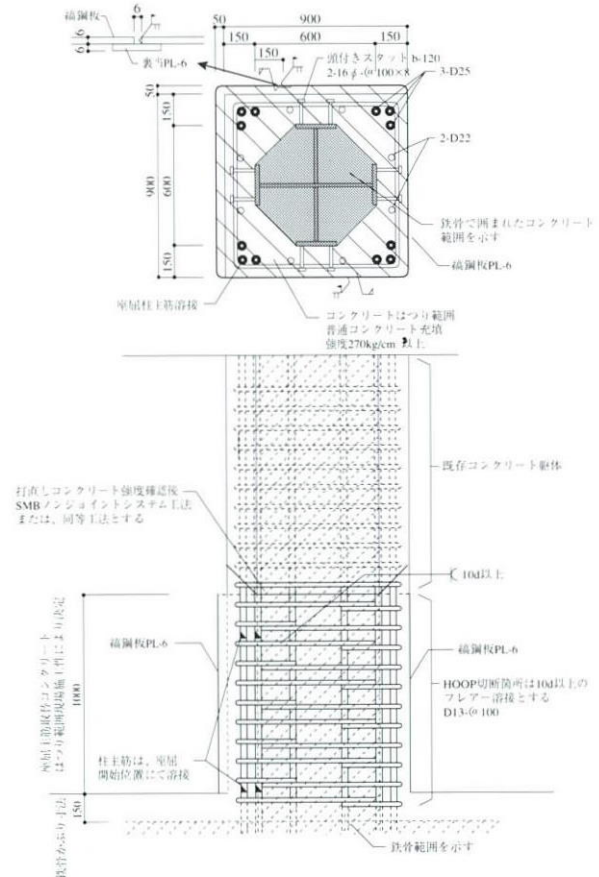


Fig. 11 SRC柱の鉄板巻による補強 Jacketing by Steel Plate on SRC Column

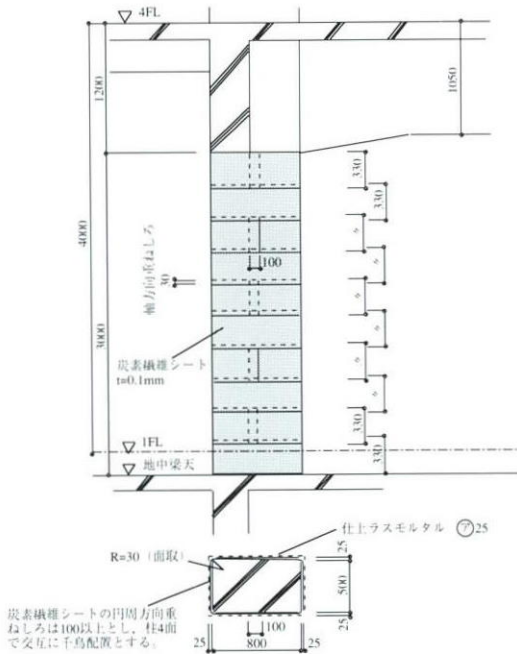


Fig. 12 炭素繊維シートによる補強 Jacketing by CF Sheet on Column



Photo 9-1 炭素繊維シートを巻いた柱 Jacketing by CF Sheets

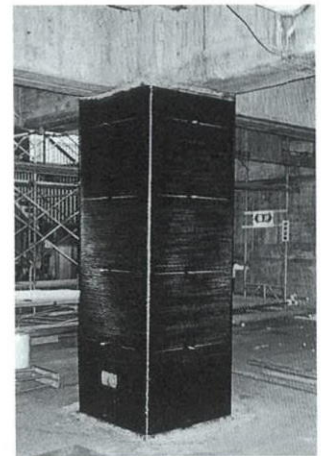


Photo 9-2 炭素繊維ストランドを巻いた柱 Jacketing by CF Strands

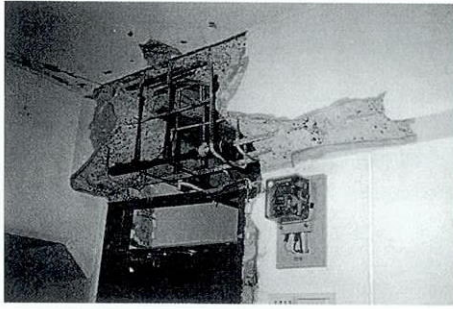


Photo 10-1 新しい鉄筋の接合
Replacing the New Steel Bars



Photo 10-2 鉄板の設置
Installing the Steel Plate

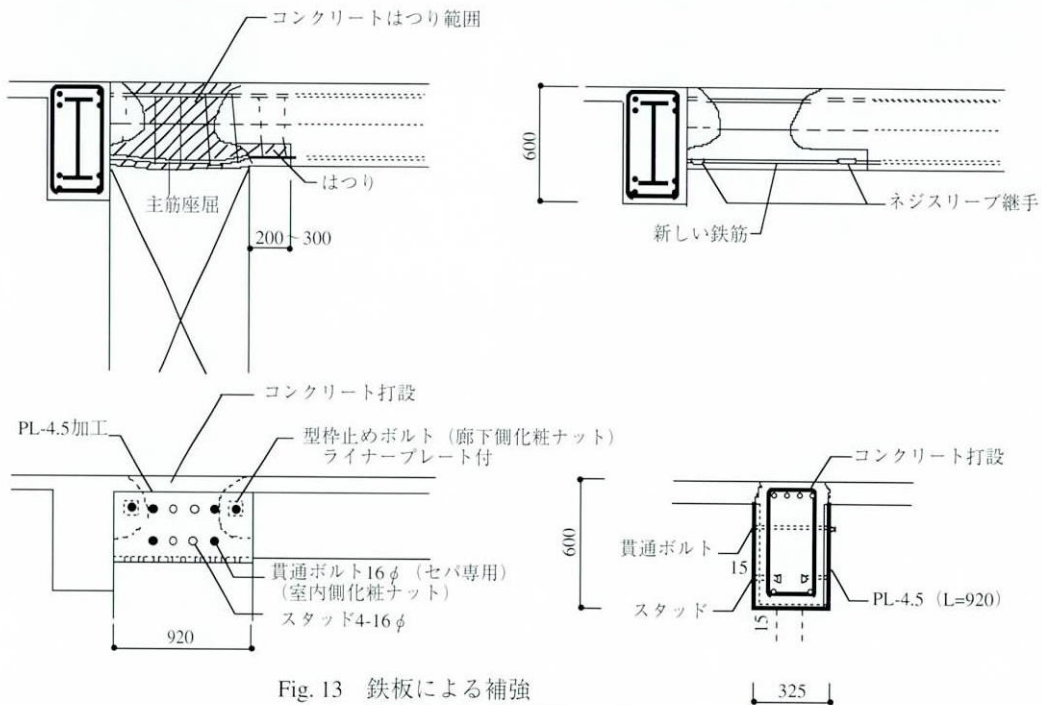


Fig. 13 鉄板による補強
Jacketing by Steel Plate on Beam

る。鉄板で補強する前に、座屈した主筋やスターラップは切断・除去するとともにコンクリートもスラブ部分まで除去する。その後、新しい主筋と既存の主筋とをネジスリーブ継ぎ手を用いて接合し、スターラップも新たに設置する。4.5mm厚の鉄板を損傷部分に貫通ボルトで固定する。最後に、スラブの上からコンクリートを打設する。Photo 10-1はコンクリートを除去し新しい鉄筋を接合した状況、およびPhoto 10-2は鉄板を設置した状況を示している。

4. おわりに

阪神・淡路大震災で被災したコンクリート造系建物の補修・補強の例を報告した。紹介した例は、種々の方法にわたっており、単なる被災前への復旧方法（補修）から、さらに耐震性を増す方法（補強）が混在している。被災していない部位への補強と異なり被災状況に応じた特殊な

方法も含まれていることを付記したい。

謝 辞

本報告は、震災直後の調査、補修・補強設計、現場工事に関連した大阪本店、神戸支店、技術研究所等の関係者の協力のもとに作成できたものである。また、本報告を作成するに当たり、技研構造第2研究室、杉山研究員、内海研究員の援助を受けた。ここに合わせて謝意を表します。

参考文献

- 1) 大林組：被災建物の恒久復旧のための耐震補強マニュアル、(1995.2)
- 2) 日本建築センター：RC造、S造、SRC造建築物の被害と補強事例、兵庫県南部地震被災度判定体制支援会議、(1995.4)