

# 鉄筋コンクリート造学校施設における耐震補強方法の提案 — 総合施工・施工管理課題実習報告 —

関東職業能力開発大学校

西村 眞治

The Earthquake Resistant Reinforcement for the School Facilities of the Reinforced Concrete Structure  
- Assigned Practice of Integrated Architectural Construction and Management Report -

Shinji NISHIMURA

**要約** 今報告は、約1年間におよぶ総合施工・施工管理課題実習において指導対象の学生達が、今なお耐震化が進まない学校施設の現状を取り上げ、「普及のための解決案」を提案すべく取り組んだ内容のものである。具体的には、モデル建物を選定のうえ構造解析、補強方法の提案および性能実験を行い、次に供試体を作成した後、構造実験による補強効果の検証を実施し、更には実用化に向けた問題点を抽出のうえ、補強方法を提案を行った。

## I はじめに

1995年に発生した阪神・淡路大震災では、約25万棟の建築物が全・半壊し、そのうち学校施設においては、3883件の被害があった。なかでも公立学校施設は3020件にのぼり、約78%を占めていた。それを受けて同年10月27日に、耐震改修促進法が公布され、特定建築物の所有者に、耐震診断及び耐震改修の努力義務が課せられた。しかし、同法律の規制が努力義務という事もあり、公立小・中学校施設において耐震化が確認された建物は、今なお全体の約半数の状況にあり、大きな課題となっている。こうした状況を踏まえ、耐震化が進まない原因である「コスト」、「工期」、「居ながらの補強の可否」に着目し、学校施設（RC造）の「安全性」、「機能性」、「経済性」を確保できる補強工法の提案を行った。手順としては、旧基準のモデル建物を選定し、構造解析及び耐震診断を行い、次に現在行われている各種補強工法を比較・検討し、それらを参考に補強方法を提案した。最終的には、構造実験にて提案した補強方法の性能も確認した。

## II モデル建物の選定

耐震化が必要な旧基準の学校建築物の図面を入手すべく、関係機関等に対象物件の提供を依頼したが困難

であった為、今回は文部科学省発行の「学校施設の耐震補強マニュアルRC校舎編（2003年改訂版）」<sup>(1)</sup>（以下、マニュアルという。）に掲載されている学校建築を対象に補強方法の提案を行う事とした。このマニュアルには、図1および図2に示すような各種図面をはじめ、事前調査のデータや計算結果が記載されており、データ比較ができるという利点も備わっていた。

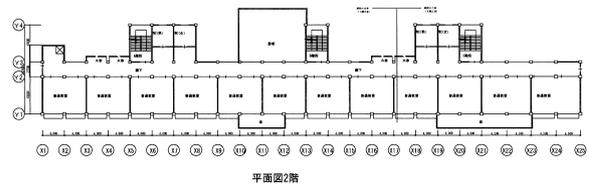


図1 モデル建物平面図（2階）

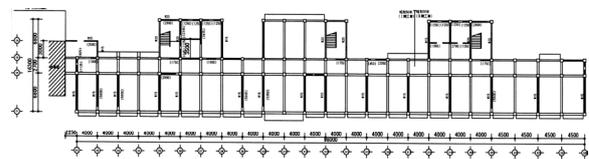


図2 モデル建物構造図（2階）

## III 構造解析

上記マニュアルにおいては、建物重量を一律12kN/m<sup>2</sup>と仮定して計算しているが、より正確な耐震診断を行い、補強方法の提案に結びつけるべく現実に即した固定荷重を計算のうえ、構造計算ソフトにより一連の

計算を行った。次に、そのデータを耐震診断ソフトに転送し、建築規模、診断係数、指標、壁配筋、地震時の付加軸力の増加率等を入力し、一次、二次の耐震診断を行った。

構造計算結果においては、ルート判定結果（表1）より、Y方向は境界壁により、壁量が充足しているため、静的設計ルートにおけるルート1でも計算が可能となったが、X方向は開口部等により、壁量が不足しているためルート1及び2の1、さらに2の2での計算は不可能という結果となった。

表1 ルート判定結果

| 判定条件           | 判定値    | X方向 |     |     |     | Y方向    |     |     |     |   |
|----------------|--------|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|---|
|                |        | ルート |     |     |     | ルート    |     |     |     |   |
|                |        | 1   | 2-1 | 2-2 | 2-3 | 1      | 2-1 | 2-2 | 2-3 |   |
| 高さ(H≤20m)      | 14.650 | ○   |     |     |     | 14.650 | ○   |     |     |   |
| 高さ(H≤31m)      | 14.650 |     | ○   | ○   | ○   | 14.650 |     | ○   | ○   | ○ |
| (1)式/ZWAI≥1.00 | 0.491  | ×   |     |     |     | 1.438  | ○   |     |     |   |
| (1)式/ZWAI≥0.75 | 0.491  |     | ×   |     |     | 1.438  |     | ○   |     |   |
| (2)式/ZWAI≥1.00 | 0.925  |     |     | ×   |     | 1.566  |     |     | ○   |   |
| 層間変形角≤1/200    | 1/3578 |     | ○   | ○   | ○   | 1/9228 |     | ○   | ○   | ○ |
| 剛性率≥0.60       | 0.816  |     | ○   | ○   | ○   | 0.903  |     | ○   | ○   | ○ |
| 偏心率≤0.15       | 0.069  |     | ○   | ○   | ○   | 0.105  |     | ○   | ○   | ○ |
| 適用の可否          |        | ×   | ×   | ×   | ○   |        | ○   | ○   | ○   | ○ |

また、耐震診断結果においては、建物の構造化状態を把握するための累積強度指標CTと、靱性指標Fとの相関関係を表すグラフを比較すると、マニュアル（図3）と再計算したもの（図4）は、ほぼ同じ性状を示していた。

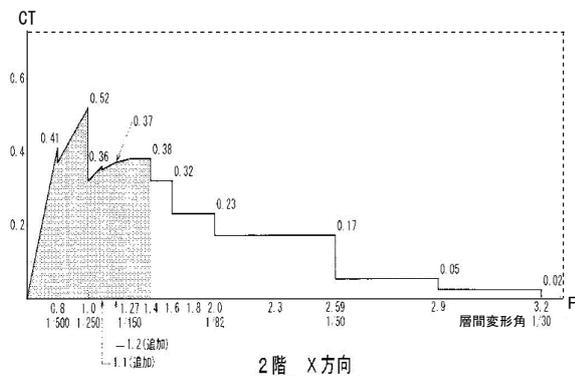


図3 マニュアル（X方向 2FCT-F図）

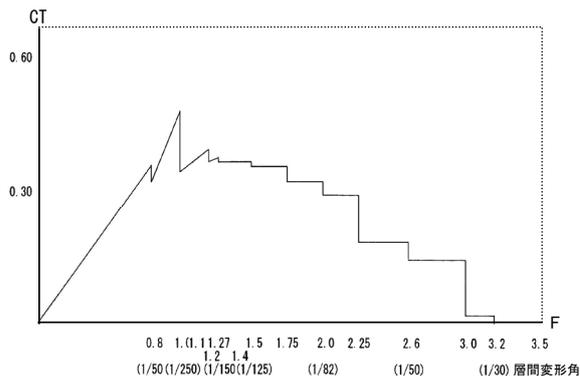


図4 耐震診断結果（X方向 2FCT-F図）

次に破壊形式の比較については、1階において、マニュアルでは、柱の破壊形式が曲げ柱（CB）になっているのに対し、今診断結果では、せん断柱（CS）となっている部分が多く見られた。この事により現実的な建物荷重で耐震診断する重要性が確認できた。

#### IV 補強方法の提案

現在使用されている各種補強工法の相対的な比較検討（表2）を行い、今課題のコンセプトに合った補強方法の選定を行った。その結果、外付ブレース工法を候補に挙げた。そのうち非制震型は、地震後の補修量は少ないが、地震入力時の振動が大きいので、制震型で検討する事とした。しかし制震型は、構造が複雑で特定の工場でしか製作出来ないという問題点があり、これを解消すべく、板バネ機構を利用した補強金物を提案した（図5）。

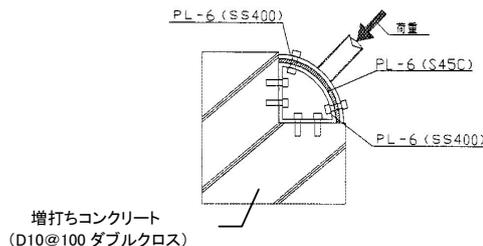


図5 補強金物端部詳細図（板バネ機構モデル）

表2 耐震補強工法一覧<sup>(4)</sup>

| 工法        | 補強工事 |       |       |      |            | 耐震性能  |      | 建物性能    |          |         |
|-----------|------|-------|-------|------|------------|-------|------|---------|----------|---------|
|           | 耐震形式 | 工事費用  |       | 工事期間 | 居ながらの補強の可否 | 入力時振動 | 各階変形 | 使い勝手の制約 | 地震後の機能障害 | 地震後の補修量 |
|           |      | 中低層   | 中高層   |      |            |       |      |         |          |         |
| 在来工法      | 強度型  | 普通    | —     | やや長い | 不可         | 大     | 小    | 多い      | 少        | 少       |
|           | 靱性型  | 普通    | 高     | 普通   | おおむね可能     | 中     | 大    | ある      | 多        | 多       |
| 免震化工法     | —    | 非常に高い | かなり高い | 長い   | 可能         | 小     | 小    | ない      | ない       | 非常に少ない  |
| ダンパー工法    | —    | 普通    | 高     | やや短い | おおむね可能     | 中     | 中    | ある      | やや少ない    | やや少ない   |
| 外付けブレース工法 | 非制震型 | 普通    | 高     | やや短い | 可能         | 大     | 小    | 少ない     | やや少ない    | 少ない     |
|           | 制震型  | 普通    | 高     | やや短い | 可能         | 中     | 中    | 少ない     | やや少ない    | やや少ない   |

板バネ機構のサイズは、施工性、設置後の外観、開口部の妨げ、コスト等を考慮し極力小型化を意識した。特徴として、板バネの弾性を利用し地震エネルギーを吸収でき、単純な機構のためパーツ化・大量生産が可能で、建物の外に取り付けるため居ながら補強が行える、という点が挙げられる。今回提案した補強方法は、この板バネ機構に、直径101.6mm×厚み4.0mmの鋼管ブレースを取り付け、既存建物へ応力伝達させるための増し打ちコンクリートを施した(図6)。

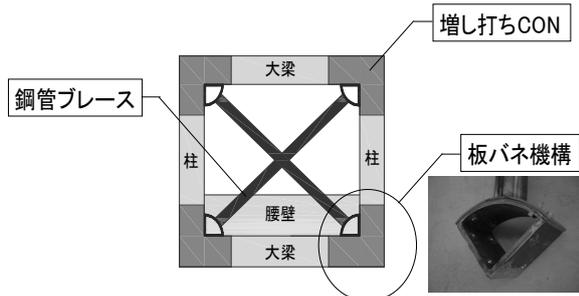


図6 考案した補強方法のイメージ図

構造は、増し打ち部分への固定用金物、バネ板、およびブレース取付け用プレートの三層(図7)になっており、バネ板は、S45Cを使用し、固定用金物、ブレース取付け用プレートは、SS400材とし、それぞれの厚みは6mmとした。厚みの選定理由は、一般的に流通している厚みであり、軽量で持ち運びが容易だと考えたからである。固定方法は、バネ性能の多様化を考えて厚みが変わる様、金物に直接溶接はせず、中ボルトを使用して固定し、ボルト穴はルーズホール形状とした。



図7 板バネ機構

## V. 構造実験

### 1 板バネ機構性能実験

直径101.6mm×厚み4.0mmの鋼管に板バネを取り

付けた本機構の制震性能を確認する為、万能試験機にて10kN毎に加力をしては戻し、復元力特性を荷重と変位量にて確認した(図8)。

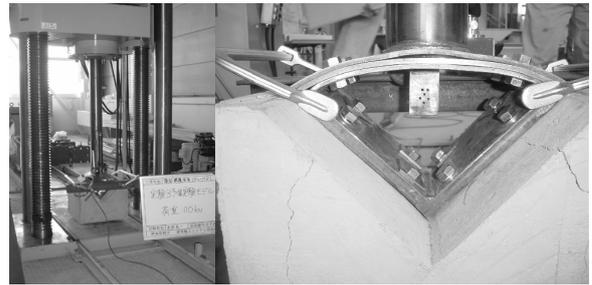


図8 板バネ機構性能実験

グラフより、約65kNまで、ほぼ弾性範囲内であることが確認できた(図9)。

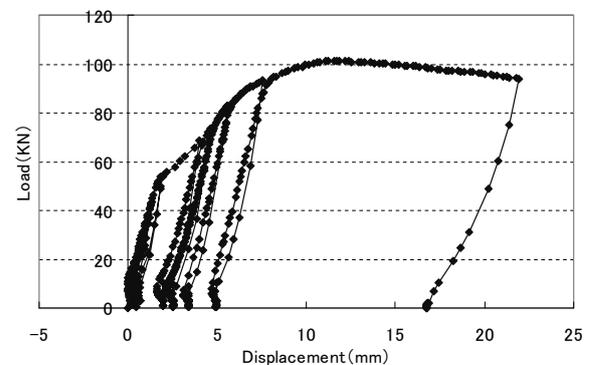


図9 実験結果

## 2 補強金物性能確認実験

### 2.1 供試体作成

モデル建物の構造解析及び耐震診断結果より、2階Y1通りX14～X15間のフレームを実験モデルとした。その根拠として、一次診断で構造耐震指数 $I_s$ が最も低い0.28(表3)が2階であり、そのうちの一般開口部を選定した。

表3 診断結果比較(X方向)

| 階 | 1次診断  |              | 2次診断 正加力     | 2次診断 負加力     |
|---|-------|--------------|--------------|--------------|
|   | $I_s$ | $I_s/I_{s0}$ | $I_s/I_{s0}$ | $I_s/I_{s0}$ |
| 4 | 0.54  | 0.68         | 0.95         | 0.94         |
| 3 | 0.36  | 0.45         | 0.64         | 0.63         |
| 2 | 0.28  | 0.35         | 0.51         | 0.5          |
| 1 | 0.32  | 0.41         | 0.55         | 0.57         |

供試体は補強金物の性能確認のため2体作成し、サイズは静的加力試験機で実験可能な1/2サイズとした。詳細については、図10、表4、図11参照のこと。

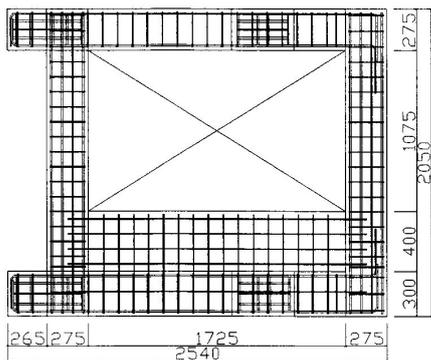


図10 供試体配筋図

表4 コンクリート圧縮強度（4週）

|                                     | No.1 | No.2 | No.3 | 平均   |
|-------------------------------------|------|------|------|------|
| $\sigma_{c28}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 26.2 | 26.2 | 25.4 | 25.9 |

| 柱断面リスト |         | 梁断面リスト |         | 壁断面リスト |               |
|--------|---------|--------|---------|--------|---------------|
| 記号     | C2      | 記号     | G1      | 記号     | W12           |
| 断面     |         | 2階断面   | 3階断面    | 断面     |               |
| X×Y    | 275×250 | b×D    | 175×300 |        | 150×275       |
| 主筋     | 12-D10  | 主筋     | 4-D10   | 縦筋     | 5φ-@100(シングル) |
| HOOP   | 5φ-@100 | Stp.   | D6-@100 | 横筋     | 5φ-@100(シングル) |

図11 断面リスト

供試体作成の流れは以下の通りである（図12～17）。



① 図12 鉄筋加工



② 図13 型枠加工



③ 図14 鉄筋組立



④ 図15 型枠組立



⑤ 図16 CON打設



⑥ 図17 型枠解体

## 2.2 既存耐力確認用実験

静的加力試験機を使用し、供試体だけの耐力及び破壊形状を確認した。実験方法は、供試体に損傷を与えない程度の鉛直荷重約60kNを加えた状態で、水平方向に1/500, 1/200, 1/100, 1/50, 1/30radの変位に達する押し引きの荷重を加えデータを記録した（図18, 19）。



図18 実験前



図19 実験後

## 2.3 補強金物性能確認用実験

補強金物を設置した供試体の耐力及び破壊形状を確認した。なお実験方法は既存耐力確認用実験同じ（図20, 21）。

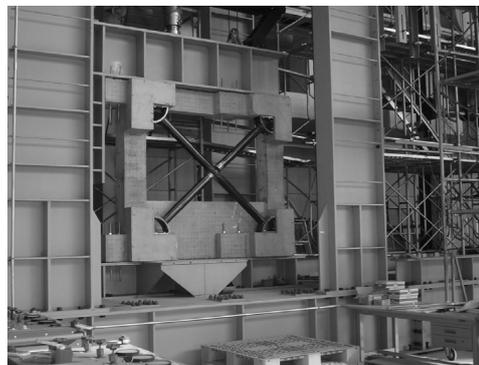


図20 実験前



図21 実験後

## VI 考察

実験結果より、補強金物を設置した事により、水平荷重の負担割合が約2倍となり、最大応答層間変形角も著しく抑制され、なおかつエネルギー吸収量も増加するといった効果が得られた。(図22)損傷状況として、既存耐力確認用実験では腰壁の影響で柱脚部がせん断破壊していたが、補強金物性能確認用実験においては、既存フレームの脆性的な破壊は見受けなれなかった。このことにより、板バネ機構の有用性が確認できたと考えられる。しかしながら、実用化を視野にいとると様々な課題も見えてきた。ひとつには、補強金物性能確認用実験における補強部分増し打ちコンクリートの圧壊現象や既存建物の劣化度合いにより憂慮される応力伝達の違い等である。

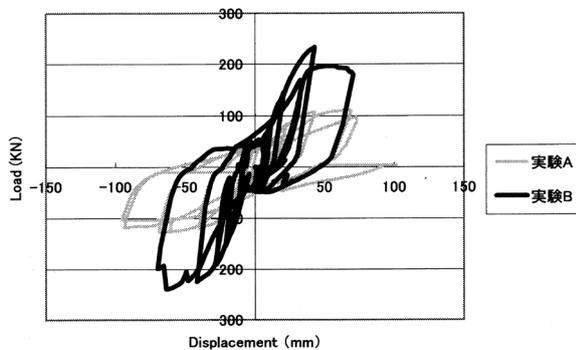


図22 荷重 - 変位曲線

これらの対策としては、増し打ちコンクリート部分の高強度化、PC化、鋼製化等によるパーツ化が、問題解決の鍵になると考えられる。次に今回予算不足で実現出来なかったスパンや高さが異なる建物にも対応できる得る伸縮機能の付加も今後検討する必要があると思われる(図23)。

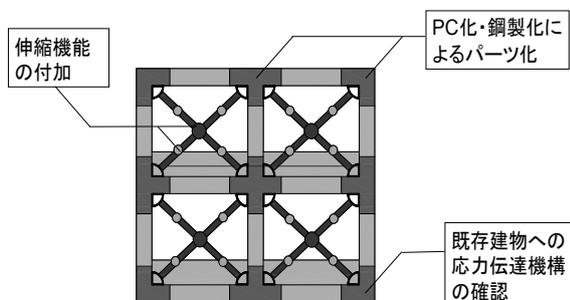


図23 今後の課題(イメージ図)

## VII 終わりに

総合施工・施工管理課題実習の目的は、「建築生産及び建築施工における諸問題に対して実践的解決案が提案できるよう学習すること」であるが、今回は、おおむねその目的に沿った形で実施ができたと考える。しかし、学生が実習を進めるにあたり、耐震診断・補強に関する資料や技術情報の収集をはじめ、使用できる図面や実験機器の寸法による試験体規模の制約、更には時間的、予算的な制約があるなかで、試行錯誤しながらの実施となった。また、実施内容が、企画、構造設計、構造実験および製品開発と幅広く、学生達にとっては大変な課題実習であった。一方、地元の構造設計事務所や建築系雑誌の出版社、栃木県の建築設計事務所協会といった外部からの貴重な意見や助言をいただくことができた。これらのことにより結果として、学生達に問題解決のためのプロセスや今まで培った建築分野の知識、技術および技能の活用方法を実践的に習得させることができたと考える。

最後に、約1年間にわたり本実習に取り組んだ田中和也、山田彬、古謝有作、橋本貴佳、本田有一ならびに小窪裕子諸氏に対し、謝意を表します。

### 【参考文献】

- (1) 文部科学省、学校施設の耐震補強マニュアルRC造校舎編(2003年改訂版)、第一法規、2004年 P204-310
- (2) ㈱建築技術、建築技術2004年5月号、㈱建築技術、2004年、P91-187
- (3) (財)日本防災協会、既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準改修設計指針適用の手引、(財)日本防災協会、2004年、P176-178
- (4) 田中和也他5名、学校施設(RC造)における耐震補強方法の提案、第5回関東職業能力開発大学校ポリテクビジョン予稿集、2006年、P24-25