

耐震One point アドバイス

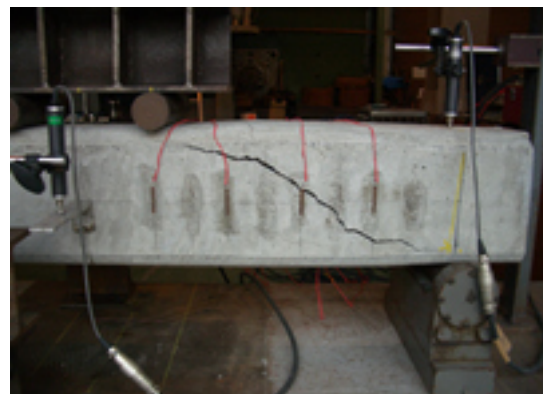
構造実験から学ぶ

耐震工学の第2Phaseとして位置付けられる構造実験は、構造工学・耐震工学上の有用な情報を直接与えるものである。ただし、鉄筋コンクリートに限定しても相当数の種類と形式があり、ここでは、梁部材、柱部材など基本的な構造実験・振動台実験を画像にて提示し、その特徴を紹介したい。

・ 梁部材

構造部材の実験で最も基本的な梁部材の曲げせん断実験のセットアップを写真1に示した。これは単純支持/対称2点荷重にて荷重試験が行われ、最も一般的な荷重実験で在ると言える。この場合、荷重点間にて曲げモーメントが作用し（純曲げ区間）、せん断スパンにてせん断力が卓越する。試験体寸法は、幅150mm、高さ200mm、スパン1010mmであり、実験室レベルの大きさと言える。上部の300kNアクチュエーターにより、単調/繰返し荷重を与えることができる。

このような対称2点荷重試験では、破壊形式（曲げ区間での曲げ破壊、せん断スパンでのせん断破壊）を予め想定し構造設計・断面設計を行い、実施するものである。せん断破壊の試験体を右写真に示している。荷重点から支点到に伸びる斜めひび割れを観察することができる。



左：対象2点集中荷重単純梁の荷重試験、右：せん断破壊した試験体

写真1 梁部材の曲げせん断実験

[武蔵工業大学/構造実験棟にて実施]

写真 2 は、対称 2 点載荷試験における試験体の破壊の様子を示したもの（先述の写真 1 とは異なる）で、特にひび割れの状況を観察することができる。ひび割れなど最終状況のスケッチも併記したが、特に内部の鉄筋との位置関係を見ることができる。試験諸元は、幅 150mm×高さ 200mm/複鉄筋長方形断面、スパン 1200mm、主鉄筋比=4.81%、せん断補強筋比=0.211%である。（配筋量が少ない）左側せん断スパンにて斜めひび割れが卓越し、腹部にて斜め引張破壊した。純曲げ区間にも下縁から曲げひび割れが（ほぼ等間隔にて）発生が認められるが、十分な軸方向筋により降伏しないように設計し、せん断破壊を意図したものである。

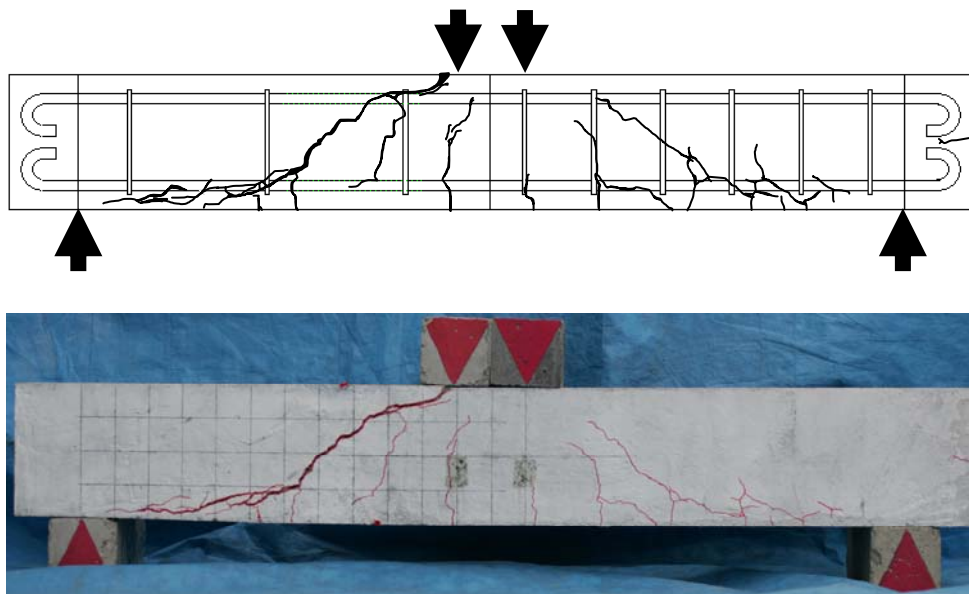
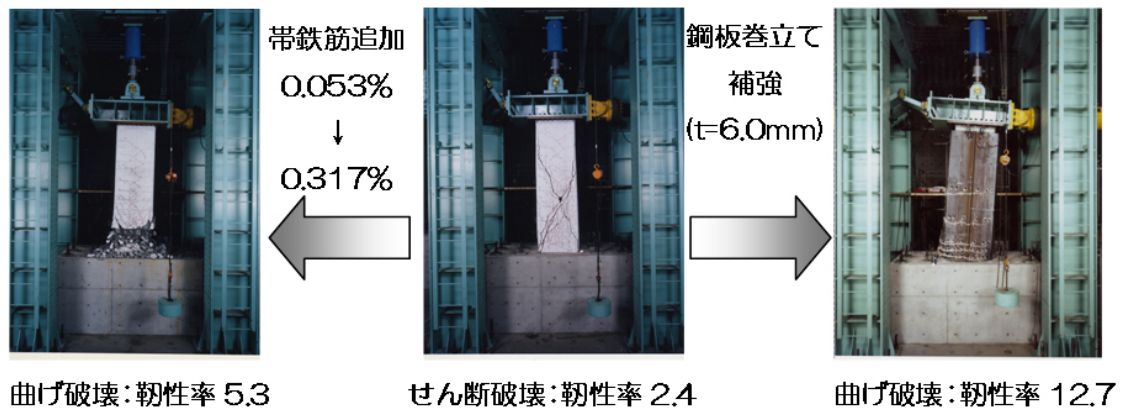


写真 2 載荷試験後のひび割れ状況（V-550B: a=550mm : 左せん断スパンにてせん断破壊）

・ 柱部材

今度は、柱部材の載荷実験を写真 3 に示したが、これは、ラーメン高架橋の柱部材を想定した実験である。このような場合、一定の垂直荷重（自重＋上載荷重）を載荷した状態で、地震時を模擬した正負交番繰返しによる水平荷重を載荷する。一般に、変位制御による漸増繰返しにより、破壊する（水平抵抗が十分に低下する）まで実験を行う。荷重、変位、鉄筋ひずみなどの種々のデータを収録し、併せて、目視によるひび割れパターンや変形を直接観察する。写真 3 の実大柱供試体（断面形状 800mm×800mm、柱高さ 3000mm）は、鉄道施設のラーメン高架橋のうち柱上端をモデルとしている。柱基部から 400mm 上がり（実際には柱上端から 400mm 下がり）に施工手順に起因する打継目を設けている。実験の結果、打継目の存在は RC 柱の靱性を低下させること、打継目が存在する場合でも帯鉄筋量を追加すれば靱性が向上すること、打継目が存在し帯鉄筋量が少ない場合でも鋼板巻立て補強を施せば靱性が向上することを確認した。



中央の写真: 旧方書に基づく靱性の不十分な試験体 (靱性率=2.4)

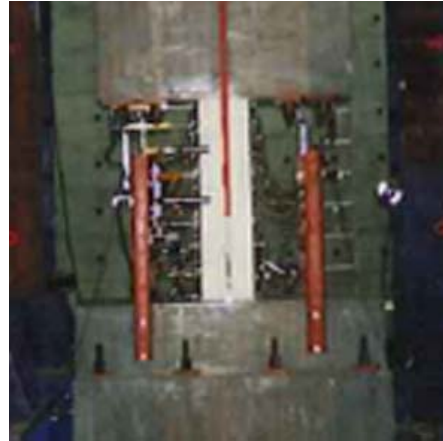
左の試験体: せん断補強筋の増量により、靱性の改善 (靱性率=5.3) が確認できた。

右の試験体: 耐震補強 (鋼板巻立て) により、著しい耐震性能向上 (靱性率=12.7) が確認された。

写真 3 柱部材の載荷実験: 正負交番水平荷重による耐震性実証試験[提供: 東急建設(株)]

・ 柱部材 (逆対称曲げ形式)

次に、超高層 RC 造建物を想定した柱部材の構造実験を写真 4 に示した。中央の試験体と周囲の大掛かりな鋼製の加力試験装置に注目してもらいたい。上部の油圧ジャッキにより一定の垂直荷重を与え、右側のアクチュエーターにより正負交番載荷水平荷重を負荷する。この場合、逆対称載荷により柱部の上端と下端に正負異なる最大曲げモーメントが作用し、地震時における多層ラーメン構造の柱部材の変形状態を再現するものである。



本試験は、超高層 RC 造建物の下層柱の 1/3 縮尺モデルで、高強度材料（コンクリート：圧縮強度 60N/mm^2 級、横補強筋：降伏強度 $13,000\text{N/mm}^2$ 級）の使用、および種々の横補強筋の形式（スパイラルフープ筋など）の採用、などが特徴であり、6 体の試験体による系統的な試験により十分な耐震性能を実証することができた。

写真 4 柱部材の載荷試験：逆対称曲げ載荷[提供：ハザマ技術研究所]

なお、写真 3 は片持ち梁形式の載荷実験であり、土木構造物を対象とし、写真 4 は建築建屋（ラーメン構造）の一部を対象としている。再度、両形式の載荷装置を着目／比較されたい。

・ RC 柱梁接合部：

写真 5 は、RC 柱梁接合部の載荷試験を示すもので、これは 15～50 階建ての RC 造ラーメン構造接合部の 1/2 モデルである。いわゆる十字型試験体とこれを支持・載荷する周辺載荷装置を確認されたい。このような試験は、付図にあるように、柱部材（垂直材）を水平方向に固定、鉛直方向に一定軸力を負荷し、梁部材（水平材）には左右端にて逆方向鉛直荷重に交番載荷（実際は、変位制御）するもので、このことにより、多層ラーメン構造の地震時における荷重状態を再現することができる。

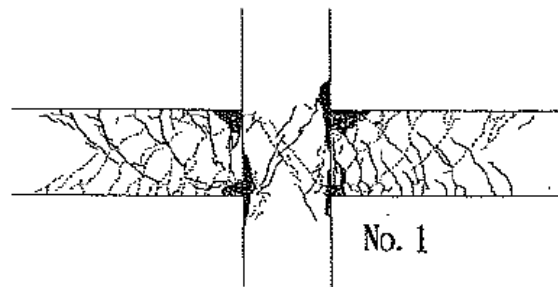
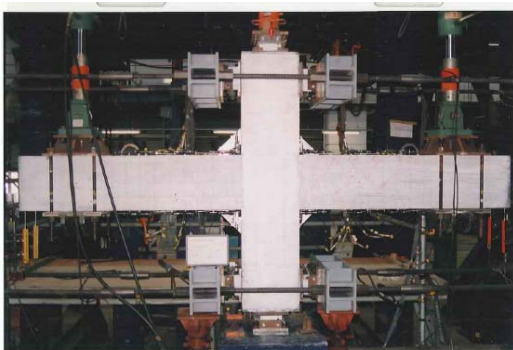


写真 5 柱梁接合部の載荷試験 [提供：ハザマ技術研究所]

多層ラーメン構造の柱梁接合部では、せん断力、曲げモーメント、軸力が作用し、そのひび割れパターン（付図参照）と破壊形式の分類はきわめて複雑である。柱梁接合部の設計に際しては、梁端部での曲げ降伏を先行させ、ラーメン構造全体降伏機構を実現することが、耐震性能にすぐれた靱性設計に繋がる。

・ 振動台実験

写真 6 は、RC 柱の振動台実験の試験前（上）と試験後（下）を示したものである。振動台実験は、通例、対象試験体(写真中央の柱部と基礎架台が一体になったもの)を振動台テーブルに固定し、上部に相当量の錘を搭載し、振動台により試験体に慣性力を再現するものである。

この振動台実験は、水平動と鉛直動（1：0.6）を同時に与え、振動時の動的挙動と最終的な破壊性状を確認するものである。付与した振動は 1Hz の正弦波を 1 波、その後、模擬地震波（最大 530gal、鉛直動はなし）を与えた。上部錘は 339kN であり、これは静止時には 339kN/（400mm×400mm）=2.1N/mm²の軸応力となる。

このような振動実験の場合、上部錘を破壊時まで、試験体に保持させることが容易ではなく、写真のように水平維持装置が機能している。写真の試験体は、基部にて曲げ破壊し、右側に傾斜して振動試験を終了した。





上：実験前のセットアップ完了時

下：実験終了時の様子

写真 6 振動台実験 [提供：大林組技術研究所/田中浩一氏]