

## 耐震補強途中に東北地方太平洋沖地震で被災した鉄筋コンクリート建物の地震応答性状 その1 桁行方向に水平1方向地震動を入力した地震応答解析

正会員 ○扇谷厚志\*1 正会員 藤間淳\*1  
同 北山和宏\*2

鉄筋コンクリート建物 東北地方太平洋沖地震 地震応答解析  
耐震補強 地震被害

### 1.はじめに

若林ら<sup>1)</sup>は耐震補強工事の途中で2011年の東北地方太平洋沖地震により被災したRC校舎について、立体骨組にモデル化して静的漸増載荷解析を行った。本報では、当該建物の桁行方向に水平地震動を入力する地震応答解析を実施し、地震時挙動を検証する。

### 2.建物概要

対象とするK小学校教室棟は栃木県那須町に位置し、1974年に竣工した3階建てRC建物である。図1に1階伏図、図2にB通り軸組図を示す。図中のローマ数字は各部材の損傷度<sup>2)3)</sup>を表す。基礎構造は杭基礎で、平面形状は桁行方向が24スパンと東西に長く、南側の別棟とExp.J(間隔50mm)で接続される。主要な柱断面寸法は500×550mm、柱主筋D22、帯筋9φ@150mmで、せん断補強筋比 $p_w$ は0.09%~0.15%である。2010年の第一期工事により14~25通りの建物東側が補強された。桁行方向は連層の鉄骨ブレース、梁間方向はRC袖壁の新設、開口閉塞、壁増し打ちによる補強が行われた。被害はB通りに集中し、腰壁・垂壁が取り付け内法高さが小さくなった柱に損傷度Ⅲのせん断ひび割れ、あるいは損傷度Ⅳのせん断破壊が生じた。被害が最も大きいのは1階の桁行方向で耐震性能残存率は73.7%、被災度区分は中破であった。また、建物を未補強部(1~13通り)と補強部(14~25通り)に分けた場合の桁行方向の耐震性能残存率は1階未補強部58.5%で大破、補強部88.3%で小破となり未補強部に被害が集中した。

### 3.解析概要

#### 3.1 検討モデル概要

建物を節点位置に質量をもつ立体骨組にモデル化し、弾塑性解析プログラムSNAP<sup>4)</sup>を用いて地震応答解析を行った。各階の重量は1階で20193kN、2階18977kN、3階16184kNである。構造階

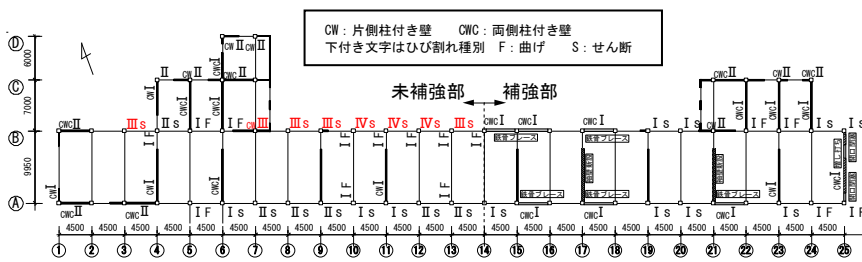


図1 1階伏図及び損傷状況

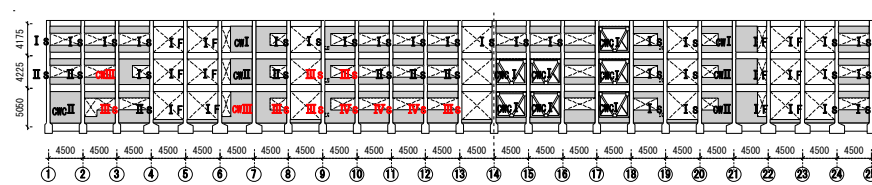


図2 B通り軸組図及び損傷状況

高は1階5050mm、2階4225mm、3階4175mmである。

剛床を仮定したうえで階全体のねじれ変形は考慮し、P-Δ効果は無視した。柱・梁は材端に剛域を有する線材に置換し、剛域は柱・梁フェイス位置から部材せい<sup>5)</sup>の1/4内側までとした。ただし、腰壁・垂壁および袖壁の長さは、それぞれの柱および梁の剛域として加味した。部材のせん断変形及びねじり変形は考慮した。柱の剛性には柱主筋および袖壁の影響を、梁の剛性には梁主筋および腰壁、垂壁、スラブの影響をそれぞれ加味した。雑壁およびコンクリートブロック壁は荷重のみを考慮した。コンクリート圧縮強度はコンクリートコア試験結果<sup>2)</sup>から1階で17.3N/mm<sup>2</sup>、2階で23N/mm<sup>2</sup>、3階で31.5N/mm<sup>2</sup>とし、引張強度は圧縮強度の1/10とした。柱主筋の降伏強度は343N/mm<sup>2</sup>、帯筋の降伏強度は294N/mm<sup>2</sup>とした。

梁は材端ばねモデルに置換し、柱はMulti-spring(以下MS)モデルを柱頭・柱脚に配置した。鉄骨ブレースの斜材は、軸ばねを有する両端ピンのトラス材とし、部材端は実際の座屈長さ・斜材角度となるように節点からオフセットさせ剛域として扱った<sup>5)</sup>。また、鉄骨ブレースの上下梁は剛とした。基礎は浮き上りを考慮するため、圧縮のみ抵抗する鉛直ばねを1階柱脚に配置した。

梁の曲げばねは武田モデルを用いた。柱・梁・壁のせん断ばねはトリリニアの原点指向型モデルとし、せん断破壊後の耐力は一定と仮定した。鉄骨ブレースの軸ばねおよびMSモデルにおける鉄筋ばねはバイリニアモデルとした。コンクリートばねの圧縮側はトリリニアモデル、引張側はバイリニアモデルを用いた。

#### 3.2 入力地震動

地震動は気象庁が公表している観測データのうち、栃木県那須寺町寺子で観測されたものを使用する。図3、4にEW方向の加速度波形と加速度応答スペクトルを示す。加速度の最大値は475gal

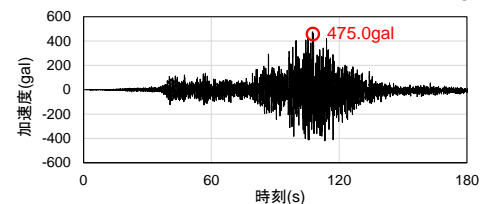


図3 加速度時刻歴波形(EW方向)

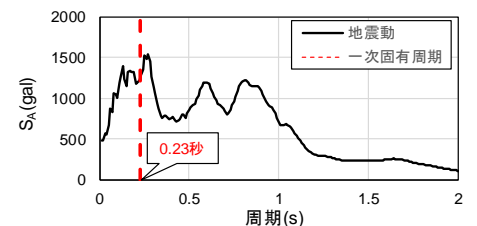


図4 加速度応答スペクトル(h=5%)

Earthquake Response of Reinforced Concrete Building under  
Retrofit Construction Damaged by the 2011 East Japan Earthquake  
Part I. Earthquake Response Analysis for Longitudinal Direction under Horizontal Loading

OGITANI Atsushi, FUJIMA Atsushi  
and KITAYAMA Kazuhiro

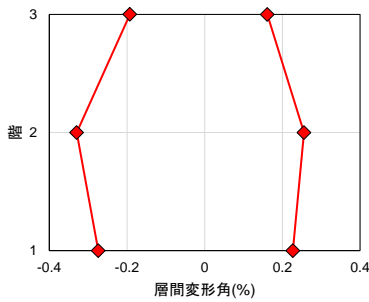


図5 最大層間変形角

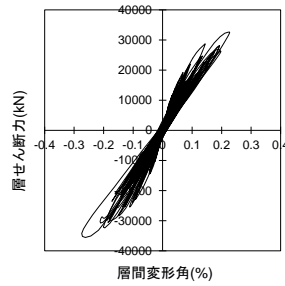


図6 1階層せん断力—層間変形角

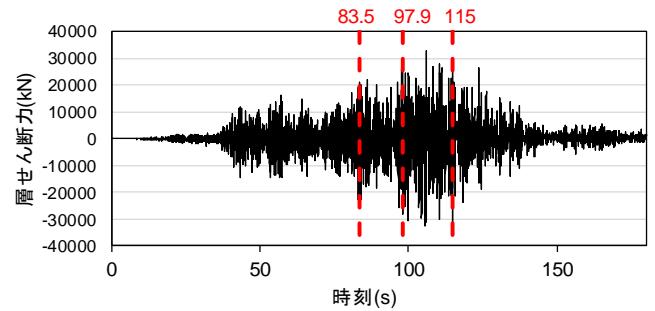


図7 1階層せん断力の時刻歴

である。加速度応答スペクトルは周期0.27秒付近で卓越が見られたのに対し、建物の一次固有周期は0.23秒でそれに近く、共振により被害が拡大した可能性がある。

#### 4.地震応答解析

前章で示したEW方向の地震動(0~180秒)を桁行方向に入力して地震応答解析を実施した。数値積分はNewmark $\beta$ 法( $\beta=1/4$ )を用い、時間刻みは0.0001秒とした。粘性減衰は3%とし、瞬間剛性に比例させた。

図5に各階の最大層間変形角、図6に1階の層せん断力—層間変形角関係、図7に1階の層せん断力の時刻歴を示す。層間変形角の最大値は1階0.27%、2階0.33%、3階0.19%となり、実被害の小さかった3階で最も小さくなった。特に損傷の激しかった1階B通りの8~13通りの柱では部材角が1%近くに達していた。1階では原点指向型に近い履歴特性を示し、層せん断力は時刻115秒付近で最大値35562kN(ベースシア係数 $C_B=0.63$ )に達した。

図8にB通りの8~19通り間の破壊機構図を示す。なお、ローマ数字は実被害状況(損傷度Ⅲ以上)を示す。時刻83.5秒で1階16通りの鉄骨ブレース脇の柱がせん断破壊した。続いて時刻97.9秒で損傷度Ⅲ~Ⅳの1階8~12通りの柱がせん断破壊した。時刻115秒で1階の層せん断力が最大値に達し、既報<sup>1)</sup>の増分解析におけるベースシア係数 $C_B=0.63$ の時の崩壊形と概ね一致した。この時までに損傷度Ⅲの2階10通りの柱もせん断破壊し、未補強部分の柱の損傷状況は概ね再現できた。しかし、補強部の1階16通りの柱では未補強部の柱より早期にせん断破壊が生じ、実状を再現できなかった。今回はEW方向の地震動のみを入力したが、実際の挙動にはNS方向や上下方向の地震動も影響を与えたと考える。また、ここでは剛床を仮定したが、既報<sup>1)</sup>で指摘された通り、実際には梁の軸方向変形により未補強部の柱の変形が補強部のそれよりも大きくなった可能性がある。

#### 5.まとめ

RC建物を立体骨組にモデル化し、桁行方向を対象に地震応答解析を行った。未補強部の柱の損傷状況は概ね再現できたが、損傷度の小さかった補強部の柱のせん断破壊が先行する結果となった。今後は水平2方向および上下方向の地震動による地震応答解析を実施し、3方向の地震動が建物の挙動に与える影響を検討する必要がある。また、未補強部と補強部での変形の違いを考慮するため、非剛床によるモデルでも再度検討を行う。

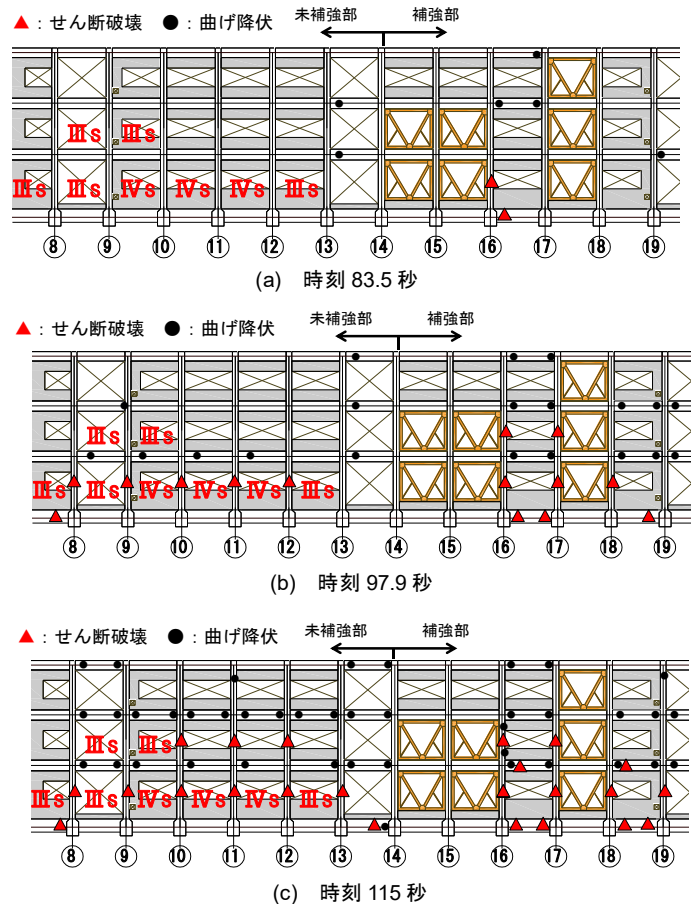


図8 B通り破壊機構図(8~19通り)

#### 謝辞

地震応答解析を行うにあたり、気象庁が公表している地方公共団体震度計の観測データを使用した。ここに記して謝意を表す。

#### 【参考文献】

- 1)若林理紗ほか：耐震補強途中で東北太平洋沖地震によって被災した鉄筋コンクリート建物の耐震性能，日本建築学会大会学術梗概集，pp497-498，2016.8
- 2)ジャパンアセスメントオフィス：K小学校教室棟耐震診断関連業務委託報告書，2011.5
- 3)日本建築防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針，2001
- 4)株式会社構造システム：任意形状立体フレームの弾塑性解析プログラム SNAP Ver.7 テクニカルマニュアル，2015.11
- 5)石木健士朗ほか：鉄骨ブレースで耐震補強した鉄筋コンクリート校舎の地震応答と補強効果に関する検討 その1，その2，日本建築学会大会学術梗概集，2013.8，pp.183-186

\*1 首都大学東京大学院 博士前期課程

\*2 首都大学東京大学院 建築学域 教授 工博

\*1 Graduate student, Tokyo Metropolitan Univ.

\*2 Prof., Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.