

建築構造物の耐力改善が耐震性能に及ぼす影響に関する研究

武田啓志¹・中埜良昭²・楠 浩一³

- 1 東京大学大学院 修士課程 (〒106 東京都港区六本木7-22-1)
- 2 工博 東京大学生産技術研究所 助 教 授 第一部 (〒106 東京都港区六本木7-22-1)
- 3 博(工) 東京大学生産技術研究所 助 手 第一部 (〒106 東京都港区六本木7-22-1)

1995年兵庫県南部地震以降、多くの建築構造物の耐震補強が行われ、耐震性能の改善が図られている。また諸外国では重要度係数により耐震性能を向上させる設計を行っている。建築構造物の耐震性能を向上させるためには①建築構造物の耐力を上昇させる②変形性能を上昇させる③耐力・変形性能を上昇させるの3種類が考えられる。本論文ではその中で①耐力の上昇に注目し、構造物の耐力上昇と耐震性能の関係について既存の地震記録を用いて検討を行った。その結果、周期帯によって性能上昇が一律でないことが分かった。また地震波の種類を変えた場合、耐震性能の上昇する比率や周期帯の違いが見られ地震波による影響が大きいことが分かった。

Key Words : Strength, Seismic Capacity, Ductility Factor, Single Degree of Freedom System
Elasto-Plastic Response Spectrum, Aseismic Strengthening of Structures

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震において1971年以前に設計施工された多くの建物が被害を受け、その結果、既存建物の耐震補強の必要性が示された。その後、数多くの耐震補強が行われ耐震性能の改善が図られている。しかし建築構造物に要求される耐震性能は必ずしも均一とは限らない。耐震補強に限らず多人数を収容する建物や災害時もしくは災害後に機能を要求されるような病院や消防署などの建物は一般の建物に比べてより高い耐震性能を持つことが望ましい。このような重要な建物に対して諸外国では重要度係数 (Importance Factor)

を設計に用いることにより、通常よりもより高い耐震性能を持たせている。

しかしこの様に耐震性能を向上させた建物が通常の建物と比較してどの程度耐震性能が向上したかを定量的に判断する手法は未だ確立されていない。そこで本研究では耐震性能の向上が地震時の応答に与える影響を検討することを目的として1質点系モデルを対象とした弾塑性応答解析を行い、耐力の上昇が耐震性能に与える影響を解析的に検討した。

2. 耐震性能

建物の耐震性能には主として耐力と変形性能の2つの要素が考えられる。つまり耐震性能の向上は建物の耐力上昇と変形性能の改善の2通りが考えられる。そのため図-1に示すように、ある耐震性能を持つ建物に対して耐震性能を向上させる方法として3種類が考えられる。すなわち①耐力のみを上昇させ耐震性能の改善を図る方法②変形性能のみを改善し耐震性能の改善を図る方法③耐力と変形性能の両方を上昇させ耐震性能の改善を図る方法、の3通りである。例えば耐震補強において①ではRC壁を増設すること②は柱の鋼板巻

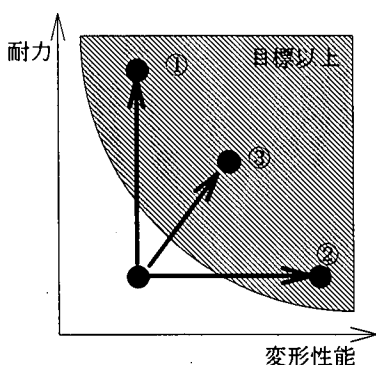


図-1 耐震性能の改善の方法

補強等による耐震補強と捉えることができる。本報では耐力のみを上昇させる①の場合についてのみ検討を行う。

3. 地震応答解析

(1) 解析モデル

本解析では建物を1質点にモデル化した。履歴モデルにはD-TRI型モデル²⁾を用い、図-2に示すようなスケルトンカーブを持つ鉄筋コンクリート造建物を想定した。ここで第1折点耐力は第2折点耐力の1/3、第2折点剛性は初期剛性の1/2倍、第2折点後の剛性は1/100とした。減衰定数は5%の瞬間剛性比例型を仮定した。積分法は線形加速度法を用い、履歴モデルにおいて解析ステップ間での剛性変化により生じる復元力・減衰力の不釣合力を次ステップで外力として解除した³⁾。また積分時間刻みは建物周期の1/20以下とした。

(2) 使用地震波

地震波は EL Centro NS 波⁴⁾ (以下、ELCEN. NS) と TAFT EW 波⁴⁾ (以下、TAFT. EW)、地域特性を考慮したものとして TOKYO101 NS 波⁴⁾ (以下、TOKYO101. NS) を、長周期を含むものとして 1968 年 HACHINOHE EW 波⁴⁾ (以下、HACHI. NS)、および 1995 年兵庫県南部地震の際に取れた神戸海洋気象台で観測された地震記録の NS 成分⁵⁾ (以下、KOBE. NS) の 5 波を使用した。

最大応答加速度が1.0GのRt曲線を基に、各地震波の減衰5%でのスペクトル強さSI⁶⁾がRt曲線と一致するよ

表-1 使用地震波記録

記録名	最大加速度	スペクトル強さSI	倍率
設計用		215.7	
EL CENTRO 1940 NS	341.7	140.4	1.54
TAFT 1952 EW	175.9	72.4	2.98
TOKYO-101 1956NS	73.7	24.0	8.99
HACHINOHE 1968NS	225.0	103.8	2.08
神戸海洋気象台	817.8	411.8	0.52

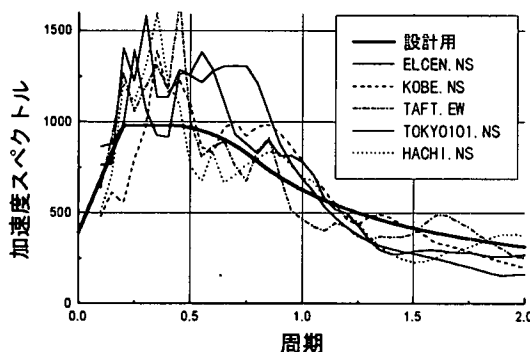


図-3 SIで標準化した(SI=215.7cm)加速度応答スペクトル

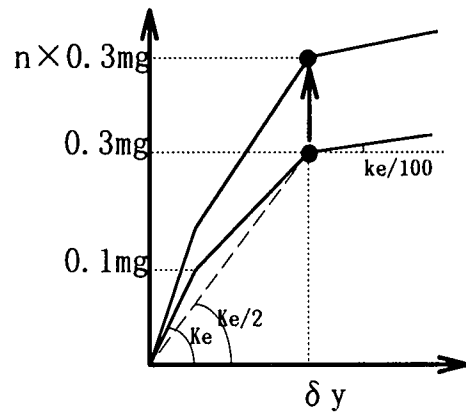


図-2 スケルトンカーブ

うに各地震波を基準化した。ここではその一例として第一種地盤を想定し、実建物の応答加速度スペクトルを対応させるため短周期部分での応答加速度を低下⁷⁾させた。各地震波の倍率を表-1に、減衰定数5%の弾性応答スペクトルを図-3に示す。

(3) 耐力の改善の仮定

耐力上昇のみによる耐震性能の改善を仮定したため、図-2に示すように第2折点変位は一定で第2折点耐力のみが上昇するモデルを設定する。なお第1折点は(1)に記した特性値に基づき決定した。

基準となる建物 (以下、基準建物) の第2折点耐力 $F_y=0.3mg$ で周期にかかわらず一定の値とし、それに対して第2折点耐力を1.2倍、1.5倍、2.0倍、3.0倍に耐力を上昇させた建物 (以下、耐力上昇建物) の耐震性能について検討を行う。

(4) 耐震性能向上の評価法

地震動による構造物の損傷の程度を表す指標として本研究では塑性率を用いた。図-5はEL Centro NS波を使用した塑性率スペクトルである。図の横軸は各建物の弾性周期を表している。耐力上昇建物は第2折点変位を変えずに第2折点耐力のみを上昇させ耐震性能の改善を図るため、耐力上昇建物の初期剛性が高くなり、弾性周期は基準建物に比べて短くなる。そのため基準建物と耐力上昇建物の塑性率スペクトルを比較する際には次式で基準建物の弾性周期に対応させるよう耐力上昇建物の弾性周期を補正しなければならない。

$$\begin{aligned}
 Q_y' &= n \times Q_y & \delta_y' &= \delta_y \\
 ke' &= n \times ke \\
 \therefore Te' &= \frac{1}{\sqrt{n}} Te & (1)
 \end{aligned}$$

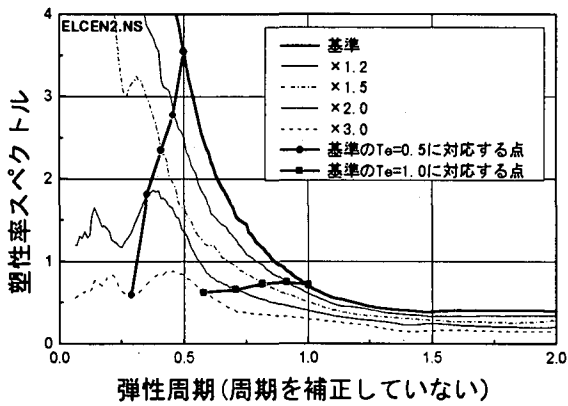


図-5 周期を補正していない塑性率スペクトル (ELCEN.NS)

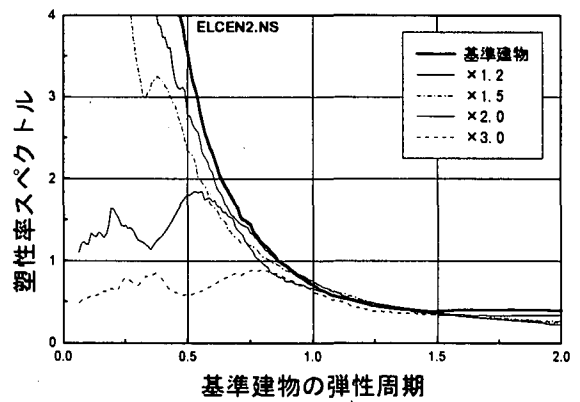


図-6 図5の周期を補正したもの (ELCEN.NS)

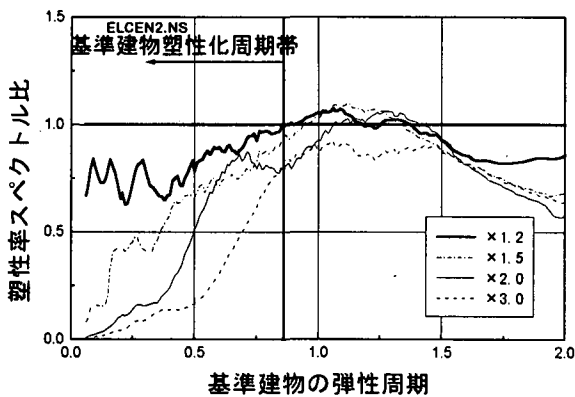


図-7 塑性率スペクトル比 (ELCEN.NS)

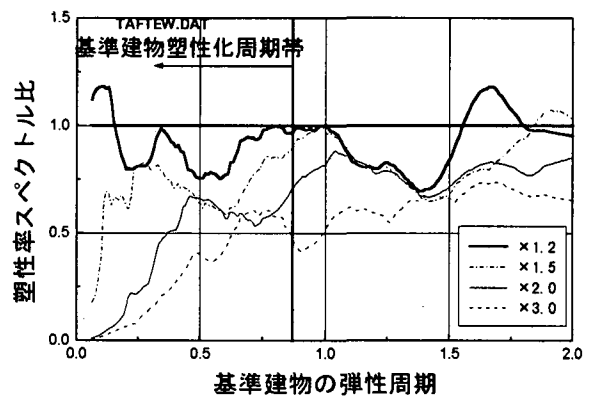


図-8 塑性率スペクトル比 (TAFT.EW)

ここで

n : 耐力上昇倍率 (=1.2, 1.5, 2.0, 3.0)

Q_y', δ_y' : 耐力上昇後の第2折点耐力および変位

T_e : 標準建物の弾性周期

T_e' : 耐力上昇建物の弾性周期

図-5に示す太線は0.5秒及び1.0秒のの弾性周期を持つ標準建物の塑性率とそれに対応する耐力上昇建物の塑性率を結んだものである。これらの塑性率を比較するため式(1)を用いて耐力上昇建物の弾性周期を補正し、標準建物の弾性周期に対応させたものを図-6に示す。図-5と比較して、耐力上昇建物の弾性周期を補正することにより耐力上昇建物の塑性率スペクトルが全体的に長周期側に移行しているのが分かる。

4. 解析結果および結果の検討

標準建物の塑性率に対する耐力上昇建物の塑性率の比 (以下、塑性率比) を図-7, 8, 9, 10, 11 に示す。各図の横軸は標準建物の弾性周期を示しており、耐力上昇

建物については式(1)を用いて周期を補正した。ここで塑性率比は

$$\text{塑性率比} = \frac{\frac{\delta_{\max}'}{\delta_y'}}{\frac{\delta_{\max}}{\delta_y}} \quad (2)$$

ここで

$\delta_{\max}', \delta_y'$: 耐力上昇建物の最大変位、第2折点変位

δ_{\max}, δ_y : 標準建物の最大変位、第2折点変位

であり、第2折点変位一定の仮定 ($\delta_y = \delta_y'$) より

$$\text{塑性率比} = \frac{\delta_{\max}'}{\delta_{\max}} \quad (3)$$

となり、塑性率比は標準建物の最大応答変形量に対する耐力上昇建物の最大変形量の比となる。応答変形に着目した場合は1(耐震性能の改善効果なし)を基準に0に近づくほど変形量が低下したこととなる。すなわ

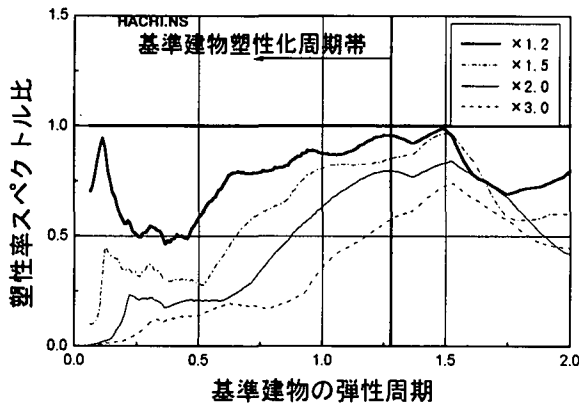


図-9 塑性率スペクトル比 (HACHI.NS)

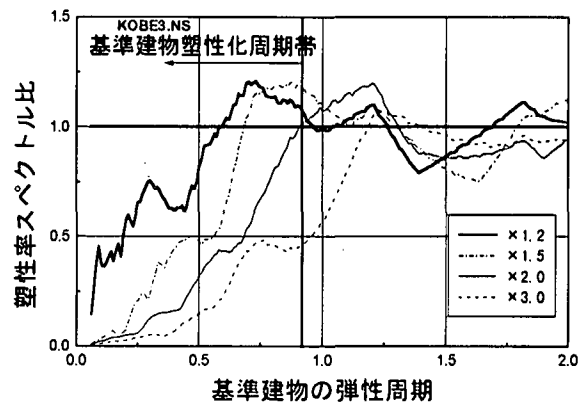


図-10 塑性率スペクトル比 (KOBEN.S)

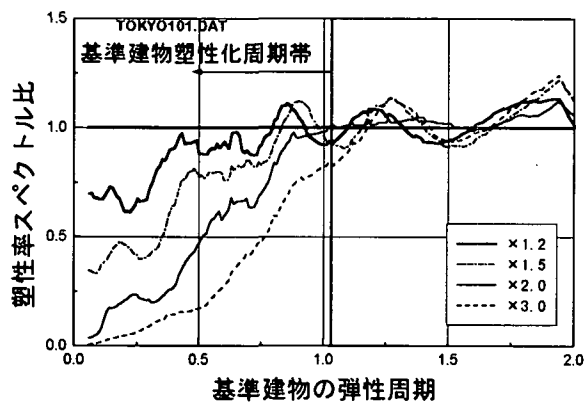


図-11 塑性率スペクトル比 (TOKYO101.NS)

ち耐震性能の改善効果が大きくなる事が分かる。1を超えた場合は変形量が耐力を上昇させる事により増加したことを示している。これは耐力上昇が耐震性能に悪影響を及ぼしていることとなる。特に基準建物が塑性化している周期帯(以下、塑性化周期帯)で耐震性能の改善効果が大きくなると耐力上昇建物の降伏後の変形を抑制することができることを示している。

2秒までの基準建物の弾性周期について代表的な地震波3波の解析結果について述べる。図-9のHACHINOHE EW波は耐力上昇が耐震性能に悪影響をもたらしている周期はなく、比較的になだらかなスペクトル形状をとっている。図-10のKOBEN.Sは基準建物の弾性周期の1秒前後に耐震性能の改善に悪影響を与えている。特に1.2、1.5倍した耐力上昇建物は0.6~1秒程度までは塑性率比が1を上回っており、耐力上昇させたにもかかわらず塑性変形量が大きくなり、耐震性能の改善に結びついていない、悪影響を与えている事が分かる。図-11のTOKYO101では基準建物塑性化周期帯以外(1.1~2.0秒)で塑性率比が1.0を超える場合もあるが、建物が塑性化していないため、塑性

率比が1を超えたことが耐震性能の低下を示すとは考えることができない。

傾向として各地震波とも塑性周期帯では長周期になると塑性率比が高くなる右上がりの傾向を持っている。また基準建物が降伏する周期(図中、縦の太線)付近においては塑性率比が1前後となり耐震性能の改善効果はあまり見られなく、地震波によっては塑性率比1を超え、耐力上昇が耐震性能に悪影響を及ぼすことが分かった。

まとめ

耐力上昇率を1.0倍から3.0倍まで変動させ、1質点系弾塑性塑性率スペクトル比に基づき、耐力の上昇が建物の耐震性能に与える影響を検討した。その結果、特に基準建物が塑性化する周期帯では短周期になるにしたがって大きな割合の耐震性能の改善効果が見られた。一方、地震波によっては耐力上昇後の塑性率が基準建物の塑性率を上回る場合も確認され、耐力上昇による耐震性能の改善が一様でないことが分かった。

参考文献

- 1) 日本建築学会：地震荷重 - その現状と将来の展望、1987年
- 2) 深田奉夫：鉄筋コンクリート造建物の復元力特性に関する研究(その1)、学術研究発表会梗概集、日本建築学会関東支部
- 3) 楠 浩一：鉛直地震動が建物の動的応答性状に与える影響に関する研究、平成8年度東京大学学位論文、1997年
- 4) 日本建築センター：ビルディングレター、1986年6月
- 5) Strong-motion accelerogram of Japan Meteorological Agency
- 6) Housner, G.W., "Behavior of Structures", Proc. ASCE, EM4, Oct. 1959
- 7) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説、1993年