T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	H-SA700を用いた中低層建物における時刻歴応答解析での存在応力を考慮した適切な鋼材の選定
Title	
著者(和文)	野村尚史, 佐藤 大樹, 北村春幸, 藤澤一善
Authors	Naoshi Nomura, daiki sato, Haruyuki Kitamura, Kazuyosi Fujisawa
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 82, No. ,
Citation(English)	, Vol. 82, No. ,
発行日 / Pub. date	2012, 3
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf:http://ci.nii.ac.jp/naid/110009571509

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

Architectural Institute of Japan

2023

2011年度日本建築学会
関東支部研究報告集Ⅰ
2012年3月

H-SA700を用いた中低層建物における時刻歴応答解析での存在応力を考慮した適切な鋼材の選定

正会員 ○ 野村尚史[*1]　正会員　佐藤大樹[*1]
同　北村春幸[*1]　同　藤澤一善[*2]

構造－振動
H-SA700　高耐震化　中低層建物
時刻歴応答解析　履歴減衰型ダンパー

1. はじめに

近年，環境問題が深刻化していく中で，100 年単位で使用可能な長寿命建築物が注目されており，その実現には巨大地震に対する対策が必要である[1)-3)]。平成16～20年度にかけて実施された新構造システム建築物に関する府省連携プロジェクト[4)]では，建築構造用高強度780 N/mm^{2}鋼材H-SA700[5)]と履歴減衰型ダンパーを組合せることで，大地震に対しても主架構は弾性範囲に留まる新構造システム建築物の開発が行われた。

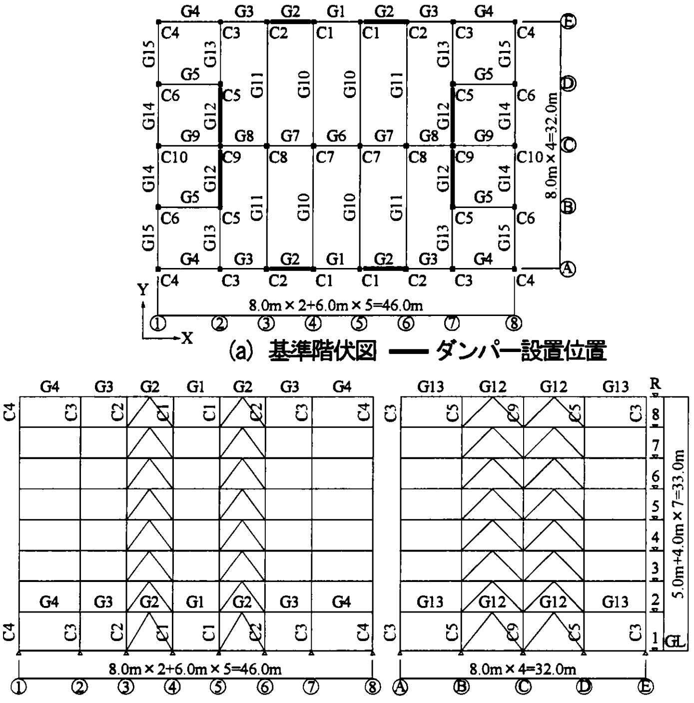
昨年度の報告[6)]では，研究の初期段階として，主架構全てを同じ強度の鋼材とすることで，SN400及びH-SA700を用いた建物の応答性状を比較した。検討を通して，主架構全てにH-SA700を用い座屈拘束ブレースを組合せることで，SN400を用いた場合と比較して鋼材重量を低減でき，レベル2の2倍の地震動に対しても主架構は弾性範囲に留まることを確認した。しかし，鋼材量の低減に伴う主架構剛性の低下により，ダンパーを付与しても，ダンパー効率が低下し変形が低下しにくくなったこと，主架構全てがH-SA700であるため応力に余裕がある部材があったこと等の課題が見つかった。また，H-SA700は普通鋼と比較して高価であり，主架構全てに用いることは経済性を考慮すると難しい。

そこで本報では，SN400を用いて作成した解析モデルの使用鋼材をH-SA700とした解析モデルを基に，部材断面は変えずに存在応力の大きさによって鋼材強度を低減させることで，部材ごとに適切な鋼材を選定することを目的として検討を行う。具体的には，鋼材の基準強度と鋼材重量を指標とした検討や時刻歴応答解析による検討を通して，経済性を考慮して効率的にH-SA700を用いるための設計に関する意見を示す。

2. 検討建物，ダンパー諸元及び入力地震動の概要

2.1 建物概要及びモデル化

図1に検討対象建物の基準階伏図と軸組図を示す。検討対象建物は，地上8階，高さ33 m（1階5 m，2～8階4 m），長辺方向（X方向）8 m×2スパン+6 m×5スパン=46 m，短辺方向（Y方向）8 m×4スパン=32 m（3～6通りは16 m×2スパン=32 mのロングスパン）の鋼構造建物とする。解析には，部材の曲げと軸方向力に対する弾塑性挙動を，材端部の2平板間に複数の完全弾塑性の軸ばねを断面形状に合わせて配置するマルチスプリングモデルで表現し，剛床を仮定した3次元部材レベルモデルを用いた。スラブの合成効果は梁の曲げ剛性のみ考慮し，剛性増大率ϕを両側スラブの場合は$\phi=1.8$，片側スラブの場合は$\phi=1.5$とした。減衰は，主架構の1次固有周期$_fT_1$に対して減衰定数$h=2\%$となる剛性比例型とした。



(a) 基準階伏図 ━━ ダンパー設置位置

(b) A, E通り軸組図　(c) X2, X7通り軸組図

図1　対象建物の基準階伏図と軸組図

2.2 ダンパー諸元の決定

ダンパーは軸材にLY225材を用いた座屈拘束ブレースを使用し，図1に示す位置に1層当たり8基付与する。1層部分のダンパーの降伏層せん断力係数$_d\alpha_{y1}$が与えられた場合，1層部分のダンパーの断面積$_dA_1$は以下の式で求められる。

$$ {}_dQ_{y1} = {}_d\alpha_{y1} \cdot \sum_{i=1}^{N} m_i g, \quad {}_dN_{y1} = \frac{{}_dQ_{y1}}{8\cos\theta_1}, \quad {}_dA_1 = \frac{{}_dN_{y1}}{{}_d\sigma_y} \qquad \text{(1a～c)} $$

ここで，$_dQ_{y1}$：1層部分のダンパーの降伏層せん断力，N：全層数，m_i：質量，g：重力加速度，$_dN_{y1}$：1層部分のダンパーの降伏軸力，θ_1：1層部分のダンパーの取付け角度，$_d\sigma_y$：ダンパーの降伏応力度

NII-Electronic Library Service

(=225 N/mm²) である。${}_d\alpha_{y1}$ の変化によって ${}_dA_1$ が決定されるため，本報では，${}_d\alpha_{y1}$ をダンパー量と呼ぶこととする。なお，各層のダンパーの降伏層せん断力 ${}_dQ_{yi}$ を ${}_dQ_{y1}$ と同じ値とし，各層のダンパーの断面積 ${}_dA_i$ を求めている。また，ダンパーの塑性化部長さ L_{pi} を柱・梁芯間長さ L_i の 1/4 としているので，ダンパーの軸方向の初期剛性 ${}_d\hat{k}_i$ は，${}_dA_i$ を用いて次式で求められる。

$$ {}_d\hat{k}_i = \frac{{}_sE \cdot {}_dA_i}{0.25L_i} \tag{2} $$

ここで，${}_sE$：鋼材の弾性係数である。なお，ダンパーの履歴形状は完全弾塑性で定義している。

2.3 解析用入力地震動

図2に速度応答スペクトル S_v (h=5%) とエネルギースペクトル V_E (h=10%) を示し，図3に地震動の加速度時刻歴波形を示す。本報では，設計事例の多い中低層鋼構造建物を対象とするため，高さ 30 m 程度の 10 階建て建物に大きな被害を与えた 1995 年兵庫県南部地震における観測波 JMA KOBE 1995 NS を位相特性として，告示スペクトルに一致するように作成された模擬波 ART KOBE（コーナー周期 T_c≧0.64 sec で S_v が 160 cm/sec で一定，以降，ART KOBE 160）をレベル 2 の 2 倍の大きさの地震動として採用する。

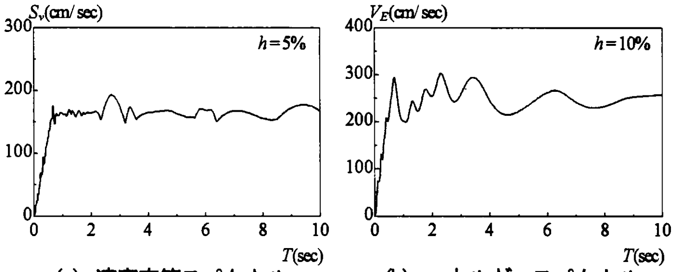
3. 解析モデルの作成と時刻歴応答解析結果

3.1 部材断面及び採用ダンパー量の決定

本報で用いる解析モデルの部材断面は SN400 を用い，幅厚比を FA，柱梁耐力比の下限値を 1.5 として，標準せん断力係数 C_0= 0.2 に対して許容応力度設計を行うことで決定した[6]。表 1 に決定した部材断面を示す。部材の断面と強度の階区分は，梁は 2～4F, 5～7F, 8F, RF の 4 区分，柱は 1～3F, 4～6F, 7～8F の 3 区分とした。SN400 を用いた解析モデルを，使用鋼材と 1 次固有周期から S4-05H と表記する（使用鋼材 SN400，1 次固有周期 ${}_fT_1$：0.05H)。次に，S4-05H と部材断面は変更せず，使用鋼材を H-SA700 とした解析モデルを作成し，これを S4-05H と同様に H7-05H と表記する。

昨年度の報告では，H7-05H から鋼材強度は変更せず，部材断面を小さくすることで鋼材重量を低減した解析モデルを作成した。鋼材重量が最も低減した解析モデルを H7-08H と表記する。しかし，1 章でも述べた通り，H7-08H にダンパーを付与しても，鋼材重量の低減に伴う主架構剛性の低下によりダンパー効率が低下し，層間変形が低下しにくくなった。そこで本報では，H-SA700 を用いて弾性剛性が最も高い H7-05H の制振構造を基に，時刻歴応答解析による存在応力の大きさに応じて鋼材強度を低減させた解析モデルを作成する。その際に採用するダンパー量は，入力地震動を ART KOBE 160 として，ダンパー量を変化させたパラメータスタディより決定する。

図 4(a),(b)にダンパー量による応答の変化を示す。着目する指標は，



(a) 速度応答スペクトル　　(b) エネルギースペクトル

図2 ART KOBE 160 のスペクトル

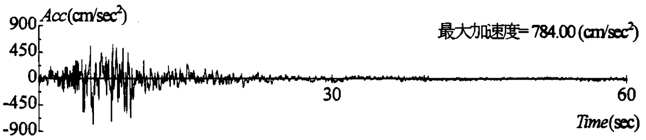
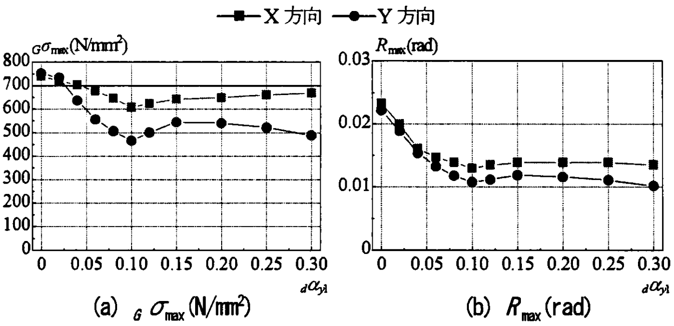


図3 ART KOBE 160 の加速度時刻歴波形

表1 解析モデルの部材断面

大梁符号	G1~9, G12~15	G10, 11
2~4F	WH-550×300×12×19 ～ WH-550×300×12×25	WH-850×300×16×32
5~7F	WH-550×250×9×19 ～ WH-550×250×12×28	WH-800×300×16×32
8F	WH-500×200×9×16 ～ WH-500×200×12×19	WH-800×250×16×25
RF	WH-500×200×9×12 ～ WH-500×200×9×19	WH-800×300×14×25
柱符号	C1~6, C9~10	C7, 8
1~3F	□-500×500×19×19 ～ □-500×500×28×28	□-550×550×50×50
4~6F	□-500×500×19×19 ～ □-500×500×25×25	□-550×550×40×40
7~8F	□-500×500×19×19 ～ □-500×500×25×25	□-550×550×36×36



(a) $_G\sigma_{max}$ (N/mm²)　　(b) R_{max} (rad)

図4 H7-05H におけるダンパー量による応答の変化

表2 鋼材の基準強度と番号

鋼材種類	400N鋼	490N鋼	520N鋼	550N鋼	590N鋼	780N鋼
鋼材番号 j	1	2	3	4	5	6
基準強度 $F_{(j)}$ (N/mm²)	235	325	355	385	440	700

梁の最大曲げ応力度 ${}_G\sigma_{max}$ と最大層間変形角 R_{max} である。本報では，図 4 のそれぞれの指標で極値をとっている ${}_d\alpha_{y1}$= 0.10 のダンパー量を採用することとする。なお，${}_G\sigma_{max}$ は ${}_d\alpha_{y1}$= 0.06 以降で 700 N/mm² を下回り，主架構は弾性範囲となっていることがわかる。

3.2 最適な鋼材の選定方法と結果

表 2 に本報で用いる鋼材の基準強度 $F_{(j)}$ と鋼材番号 j を示す。$F_{(j)}$ は降伏点の下限値[7] とし，j は本報で設定した。図 5（次頁）に，鋼材強度を低減させた解析モデルの作成フローを示す。STEP 1 として，${}_d\alpha_{y1}$= 0.10 のダンパー量を付与した H7-05H に，ART KOBE 160 を入

NII-Electronic Library Service

Architectural Institute of Japan

力した際の各部材の応力度を確認する。図6に，この時の各部材の応力度を示す。なお，梁の応力度$_G\sigma$は曲げ応力度，柱の応力度$_C\sigma$は曲げと軸力の組合せ応力度とする。左右対称の平面計画の建物であるため，対象構面はX方向ではA～C通り，Y方向では1～4通りとする。図6より，梁の応力度が最大で440～700 N/mm^{2}であるのに対して，柱の応力度は最大で325～355 N/mm^{2}であり，柱の応力には余裕があることがわかる。STEP 2として，部材応力度は使用鋼材の基準強度以下であればよいとし，部材断面は変更せずに適切な鋼材を選定する。なお，部材強度の階区分はS4-05Hと同じとする。しかし，STEP 2の段階では柱梁耐力比の制限を設けず，応力度の結果により鋼材強度を低減させたため，梁に対して柱の鋼材強度が低減し，柱梁耐力比の最小値が0.6程度となった。そこでSTEP 3として，柱梁耐力比1.5以上を満足させるため，柱の鋼材強度のみを上げる。ここで作成する解析モデルを，mix-05Hと表記する。

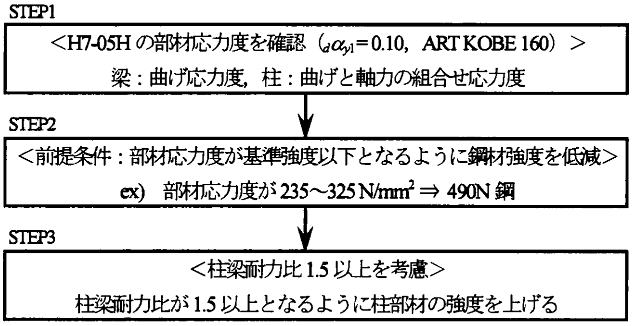


図5 各種鋼材を組合せた解析モデルの作成フロー

図7(a)～(c)に，鋼材重量が同じ3つの解析モデル（S4-05H, mix-05H, H7-05H）における各種鋼材の重量割合を，主架構全体（Total），梁（Girder），柱（Column）についてそれぞれ示している。図中には，パーセンテージで各種鋼材の重量割合を示しており，全体の鋼材重量$_SW$，梁の鋼材重量$_GW$，柱の鋼材重量$_CW$も示している。S4-05Hは全て400 N鋼，H7-05Hは全て780 N鋼である。図7(a)～(c)より，mix-05Hの780 N鋼の割合に着目すると，主架構全体では20.3 %となっている。梁と柱においてはそれぞれ22.7 %と17.3 %であり，梁の方が780 N鋼の割合が多いということがわかる。

ここで，各解析モデルの経済性を示す指標として$\overline{F}_m$を定義する。$\overline{F}_m$は，各解析モデルにおける鋼材強度の加重平均値に，S4-05Hに対する各解析モデルの鋼材重量の割合を掛けることで，S4-05Hの鋼材重量を基準とした指標となっている。$\overline{F}_m$は式(3)より算出される。

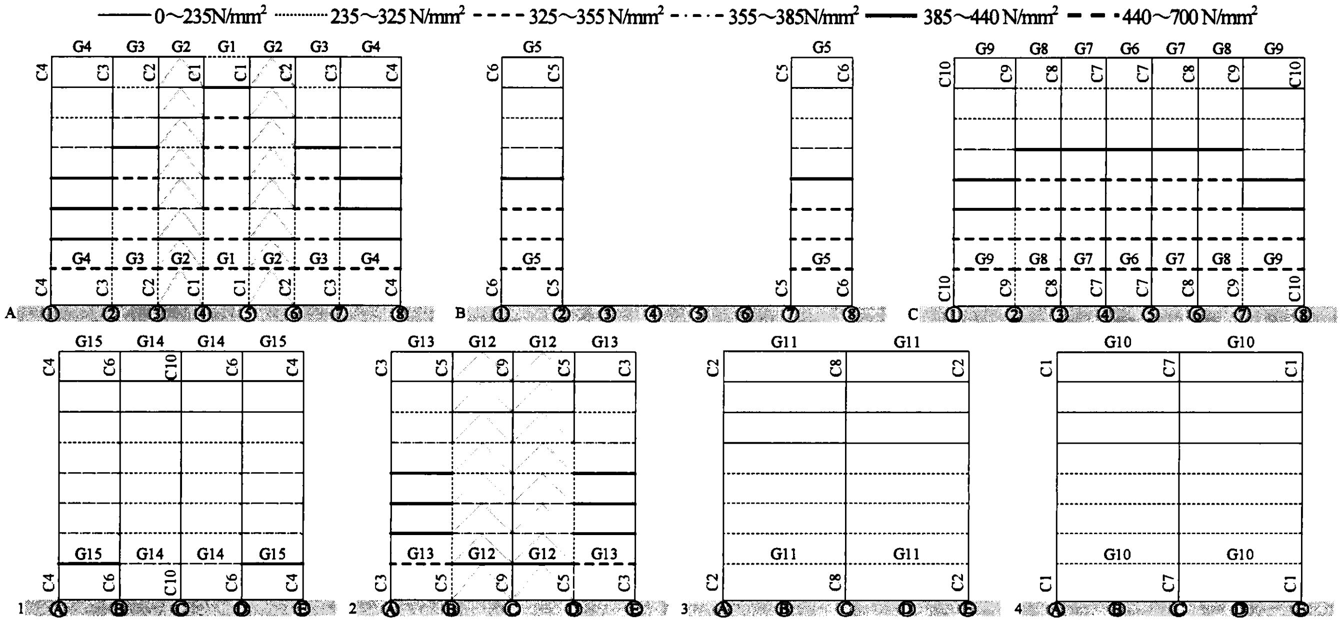


図6 H7-05Hにおける各部材の応力度分布（$_d\alpha_{y1}$ = 0.10）

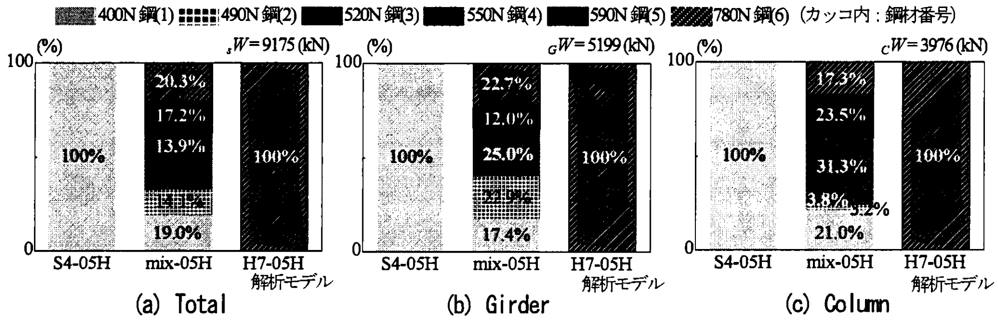


図7 解析モデルごとの各鋼材の重量割合

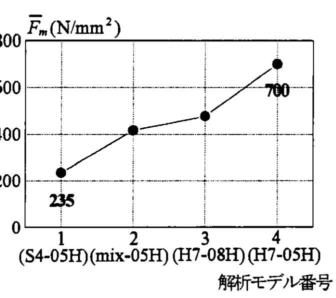


図8 鋼材強度の平均値

NII-Electronic Library Service

Architectural Institute of Japan

$$\overline{F}_m = \left(\sum_{j=1}^{6} \frac{F_{(j)} \cdot {}_sW_{(j)m}}{{}_sW_m} \right) \times \left(\frac{{}_sW_m}{{}_sW_1} \right) \tag{3}$$

ここで, m:解析モデル番号 (図8中で定義), j:表2中の鋼材番号, $F_{(j)}$:各種鋼材の基準強度, ${}_sW_{(j)m}$:解析モデルmにおける鋼材jの重量, ${}_sW_m$:解析モデルmにおける主架構全体の鋼材重量, ${}_sW_1$:S4-05Hにおける主架構全体の鋼材重量である。図8 (前頁) に4つの解析モデルにおける$\overline{F}_m$を示す。図8より, mix-05Hは$\overline{F}_m$= 417 N/mm^2, H7-08Hは$\overline{F}_m$=478 N/mm^{2}であり, H7-05Hに対してそれぞれ0.60倍, 0.68倍であることがわかる。これより, mix-05Hの方がH7-08Hと比較して経済性に優れていると判断できる。

3.3 高さ方向の応答分布

図9(a)~(c)に, 本報で挙げた4つの解析モデルにART KOBE 160を入力した際の高さ方向の応答分布として, 最大層間変形角$R_{\max i}$, 各層で最大となった梁端の曲げ応力度${}_G\sigma_{\max i}$, 各層で最大となったダンパーの塑性率${}_d\mu_{\max i}$を示す。なお, 採用するダンパー量は, 各解析モデルのX方向において, ART KOBE 160を入力してダンパー量を変化させたパラメータスタディ[6]より層間変形角が十分低減したダンパー量とし, S4-05Hでは${}_d\alpha_{y1}$= 0.08, H7-05Hでは${}_d\alpha_{y1}$= 0.10, H7-08Hでは${}_d\alpha_{y1}$= 0.15としている。mix-05Hにおいては, H7-05Hと同じ${}_d\alpha_{y1}$= 0.10を採用している。図9より, mix-05HとH7-05Hの応答は一致しており, H7-05Hの存在応力の結果からmix-05Hの使用鋼材を選定したため, H7-05H同様にmix-05Hの主架構は弾性範囲に留まっていると判断できる。${}_G\sigma_{\max i}$より, S4-05Hのみが塑性化していることがわかる。H7-08H以外の解析モデルにおいて$R_{\max i}$は1/75以下, ${}_d\mu_{\max i}$は20程度となっているが, H7-08Hでは$R_{\max i}$, ${}_G\sigma_{\max i}$ともに他の解析モデルより大きな応答であることがわかる。ここで, ダンパー歪${}_d\varepsilon_{\max i}$を算出すると, ${}_d\mu_{\max i}$= 20の時${}_d\varepsilon_{\max i}$= 2.2 %となり, 2.0 %を超える応答[8]となるため注意が必要である。

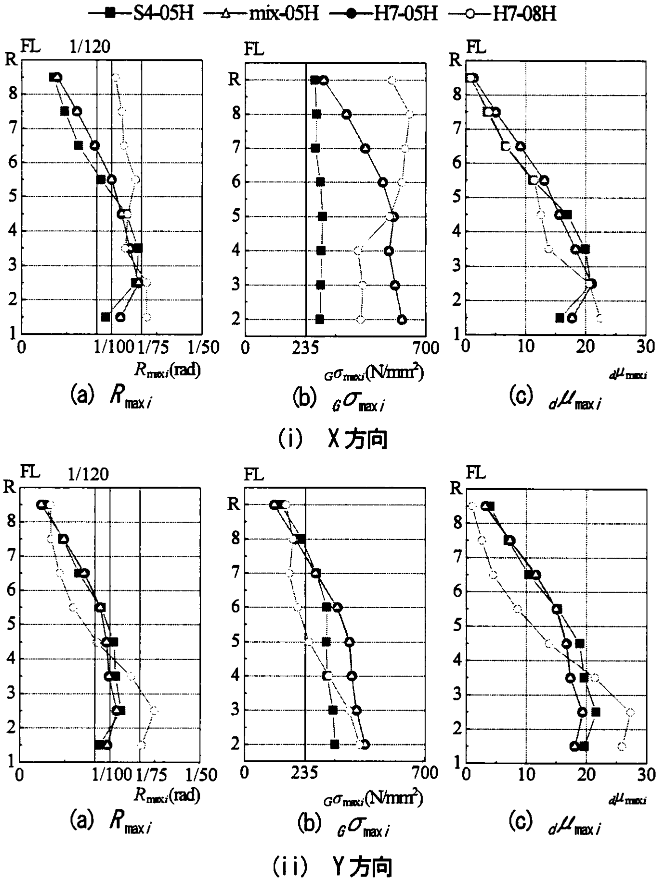


図9 高さ方向の応答分布

4. まとめ

SN400を用いて作成した解析モデルの使用鋼材をH-SA700とした解析モデルを基に, 部材断面は変えずに存在応力の大きさによって鋼材強度を低減させることで, 部材ごとに適切な鋼材を選定することを目的として検討を行った。以下に得られた知見を示す。

(1) 部材ごとに適切な鋼材を選定することで, 主架構全体におけるH-SA700の使用率を20.3 %に抑えることができた。また, 解析モデルの経済性を示す指標を算出し, 部材ごとに適切な鋼材を選定することで, 経済性を考慮した建物となる可能性を示した。

(2) 時刻歴応答解析による高さ方向の応答分布より, 主架構全体におけるH-SA700の使用率を20.3 %に抑えた解析モデルの応答は基の解析モデルの応答と一致し, レベル2の2倍の地震動に対して主架構は弾性範囲となることを確認した。

以下に, 経済性を考慮して効率的にH-SA700を用いるための設計に関する意見を示す。

本報の検討結果から, 部材の存在応力を適切に判断しそれによって鋼材強度を決定できれば, 主架構全てにH-SA700を用いなくても, 主架構弾性の高耐震化建物が実現できる可能性があることを示せたと考える。それは, 普通鋼と比較すると高価であるH-SA700の使用鋼材量を抑えることとなり, 経済性を考慮した設計に繋がると考える。しかし, より大きな地震に対して, 梁は塑性化する可能性があるため, H-SA700を用いていない梁に塑性化を集中させる設計が必要となる。よって今後は, 想定以上の大地震に対してはダンパーだけでなく特定の梁の塑性化も許容する設計例を示し, H-SA700を用いた設計手法の提案に繋げていくつもりである。

謝辞

本研究は「日本鉄鋼連盟　鋼構造研究・教育助成金事業」による研究助成を受けたものである。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

1) 土木学会・日本建築学会巨大地震対応共同研究連絡会:海溝型巨大地震による長周期地震動と土木・建築構造物の耐震性に関する共同提言, 2006.11
2) 日本建築学会:長周期地震動と建築物の耐震性, 丸善株式会社, 2007.12
3) 内閣府・中央防災会議, 地震対策, http://www.bousai.go.jp/5jishin/index.html
4) 国土交通省総合技術開発プロジェクト　高強度鋼等の革新的構造材料を用いた新構造建築物の性能評価手法の開発:国土交通省　国土技術政策総合研究所, 2009.3
5) 日本鉄鋼連盟:建築構造用高強度780N/mm^{2}鋼材 (H-SA700), 2009.2
6) 野村尚史, 佐藤大樹, 北村春幸, 藤澤一善:高強度鋼を用いた高耐震化鋼構造中低層建物の応答性状, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2010.3.
7) 鋼構造設計便覧:JFEスチール, 2011.2
8) 建築研究所, 日本鉄鋼連盟市場センター:「履歴型ダンパー付鋼構造骨組の設計法」報告書, 2002.2

*1 東京理科大学　*2 JFEスチール株式会社

NII-Electronic Library Service