

地震応答低減機能を有する床構造を適用した 1 層鋼構造骨組の地震応答に及ぼす床組の面内変形の影響

正会員 ○矢野 康^{*1} 同 聲高 裕治^{*2}

2. 構造—10. 鉄骨構造

床スラブ、粘弾性体、地震応答、地震入力エネルギー

1. はじめに

本研究は、図 1 に示す床構造¹⁾の開発を目指している。この床構造は、2 枚の鋼板の間に粘弾性体を接着したものを梁と床スラブの間に挿入することによって、粘弾性体のエネルギー消費を利用して構造物の地震応答低減を図るものである。文献 1) では、床組の面内変形を無視した 1 層鋼構造骨組を対象として、床スラブと骨組から成る 2 自由度系解析モデルの地震応答解析結果から、本床構造を適用することによって骨組の最大ベースシヤ係数を 2～3 割低減できることを示している。

他方、本床構造を適用した骨組は剛床仮定が成立しないため、床組の面内変形が生じる場合がある。文献 2) では、各構面が負担する質量の分布と各構面の層せん断剛性の分布が異なる場合に、床組の面内変形が生じることを示している。本論では、本床構造を適用した 1 層 2 スパン鋼構造骨組を対象として、文献 2) の考え方に従って床組の面内変形を考慮した解析モデルを構築し、この解析モデルを用いた地震応答解析結果と、床組の面内変形を無視した場合の解析結果¹⁾とを比較・考察する。

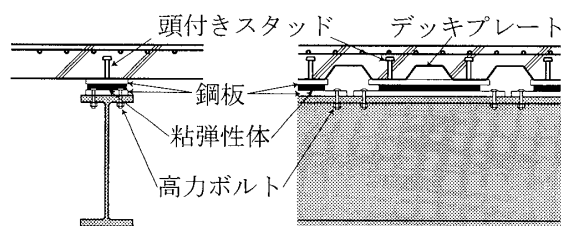


図1 地震応答低減機能を有する床構造

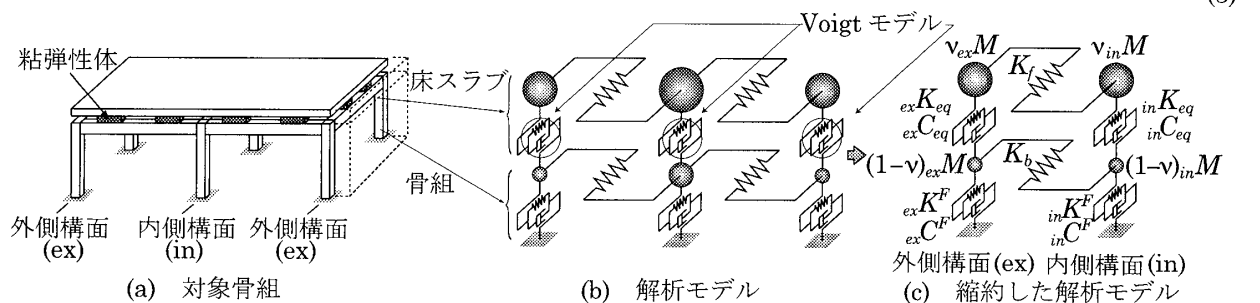


図2 対象骨組と解析モデルの縮約

2. 対象と解析モデル

対象は、図 1 の床構造を適用した 1 層 2 スパン鋼構造骨組であり、弾性応答を示す場合を取り扱う。偏心の影響を排除するため、各構面が負担する質量、各構面の層せん断剛性、各構面の粘弾性体の形状係数 S/d (S : 粘弾性体の貼付面積, d : 粘弾性体の厚さ) は内側構面に関して対称とする。

図 2(a) に示す対象骨組を床スラブと骨組に分解し、図 2(b) に示す 6 自由度系の解析モデルを構築する²⁾。ただし、各構面における質点は床組および床スラブで連結されているものと考えている。骨組の対称性より、中央構面の質量、層せん断剛性、粘弾性体の形状係数を 1/2 にすることで、図 2(c) に示す縮約モデルが得られる。

図 2(c) に示す縮約解析モデルの各質点における力の釣合により、地震時の運動方程式は(1)式で表される。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[M]\{1\}\ddot{x}_G \quad (1)$$

ここで、

$$[M] = \begin{bmatrix} (1-\nu)_{ex}M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \nu_{ex}M & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu)_{in}M & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \nu_{in}M \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} exC^F + exC_{eq} + C_b & -exC_{eq} & -C_b & 0 \\ -exC_{eq} & exC_{eq} + C_f & 0 & -C_f \\ -C_b & 0 & inC^F + inC_{eq} + C_b & -inC_{eq} \\ 0 & -C_f & -inC_{eq} & inC_{eq} + C_f \end{bmatrix} \quad (3)$$

Effect of in-plane deformation of floor flaming on seismic response of single-story steel structure with isolated floor system

YANO Yasushi and KOETAKA Yuji

$$[K] = \begin{bmatrix} exK^F + exK_{eq} + K_b & -exK_{eq} & -K_b & 0 \\ -exK_{eq} & exK_{eq} + K_f & 0 & -K_f \\ -K_b & 0 & inK^F + inK_{eq} + K_b & -inK_{eq} \\ 0 & -K_f & -inK_{eq} & inK_{eq} + K_f \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\{x\} = \{exx^F \quad exx^{VEM} \quad inx^F \quad inx^{VEM}\}^T \quad (5)$$

ただし、 $\ddot{x}_G$ は地動加速度、 M は各構面の質量、 ν は全重量に対する床の重量の割合（重量比）、 K_f は床スラブの面内剛性、 K_b は床組の面内剛性、 K^F は骨組の層せん断剛性、 C^F は減衰係数である。粘弾性体の解析モデルには Voigt モデルを用い、等価剛性を K_{eq} 、等価減衰係数を C_{eq} で表す。これらの変数の左下添字 in は図 2(c)の解析モデルにおける内側構面の諸量を、ex は外側構面の諸量を表している。

3. 解析パラメータと解析条件

表 1 に解析パラメータを示す。解析骨組の全重量は 1400(kN)とし、床スラブ上に一様に分布する場合を対象とする。骨組全体の層せん断剛性は、本床構造を適用しない場合の固有周期 T （表 1 参照）と上記の重量に基づいて算出し、外側構面の層せん断剛性 exK^F と内側構面の層せん断剛性 inK^F を、表 1 中の exK^F/inK^F で与えている。また、各構面で形状係数が異なる場合の挙動を確認するために、骨組全体の形状係数 S/d を定めた上で、外側構面の粘弾性体の貼付量 exS と内側構面の

粘弾性体の貼付量 inS を、表 1 中の exS/inS で与えている。なお、層せん断剛性比 exK^F/inK^F が 1/2 で、かつ粘弾性体の貼付面積比 exS/inS が 1/2 の場合、これらの値は各構面の負担する質量の比と一致し、文献 1)における床組の面内変形を無視した場合の解析結果と一致する。

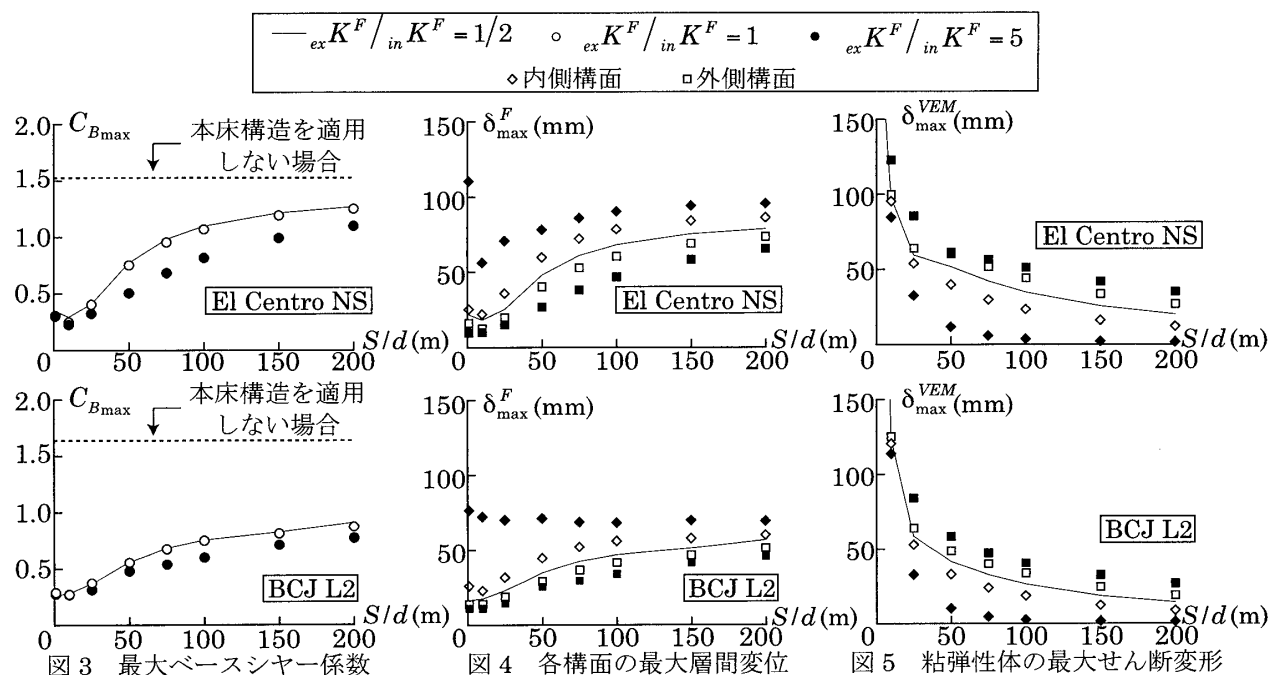
床スラブの面内剛性 K_f は剛床とみなせる程度に大きな値（骨組全体の層せん断剛性の 100 倍）を与えており、床組の面内剛性 K_b は無視している。骨組の減衰は $h^F = 0.02$ の初期剛性比例型とし、粘弾性体の温度は 20℃(一定)としている。入力地震動は表 2 に示す 2 波としている。El Centro NS は地動最大速度を 0.5(m/s)に標準化したものを、BCJ L2 は原波を用いている。数値解析の時間積分は Newmark β 法(平均加速度法)を用い、時間増分 Δt を 0.002(s)としている。

表 1 解析パラメータ

解析パラメータ	範囲
層せん断剛性比 exK^F/inK^F	1/2, 1, 2, 5
貼付面積比 exS/inS	1/2, 1, 2, 5
形状係数 S/d (m)	1~200
重量比 ν	0.5, 0.7, 0.9
固有周期 T (s)	0.5, 1.0

表 2 入力地震動

入力地震動	地動最大加速度 (m/s ²)	解析時間 (s)
El Centro NS	5.11	53.7
BCJ L2	3.56	120



4. 解析結果

4.1 層せん断剛性比だけを変化させた場合の解析結果

本節では、 $_{ex}S/_{in}S=1/2$ (文献1) と同じ) とし、層せん断剛性比だけを変化させた場合の解析結果について考察する。図3に最大ベースシヤー係数 C_{Bmax} を、図4に各構面の最大層間変位 δ_{max}^F を、図5に粘弾性体の最大せん断変形 δ_{max}^{VEM} をそれぞれ示す。図中の横軸は粘弾性体の形状係数 S/d である。また、図中の実線は床組の面内変形を無視した場合 ($_{ex}K^F/_{in}K^F=1/2$) の解析結果を、プロットは面内変形を考慮した場合 ($_{ex}K^F/_{in}K^F=1$ および 5) の解析結果を表している。各図の上段は El Centro NS の解析結果、下段は BCJ L2 の解析結果である。固有周期 T と床スラブの重量比 ν を変化させた場合で同様の傾向が確認されたため、本節では $T=0.5(s)$ 、 $\nu=0.7$ の場合について考察する。

図3より、いずれの地震動においても各構面の層せん断剛性比が大きくなるに伴って、最大ベースシヤー係数 C_{Bmax} が減少することがわかる。また、図4、図5より、各構面の層せん断剛性比が大きくなるに伴って、層せん断剛性の大きい構面 (外側構面) における骨組の最大層間変位 δ_{max}^F は減少 (図4の○、■印) し、粘弾性体の最大せん断変形 δ_{max}^{VEM} は増加 (図5の○、■印) していることがわかる。一方で、層せん断剛性の小さい構面における粘弾性体の最大せん断変形 δ_{max}^{VEM} は減少しており (図5の◇、◆印)、特に、層せん断剛性比が $_{ex}K^F/_{in}K^F=5$ の場合における粘弾性体の最大せん断変形 δ_{max}^{VEM} は、形状係数 S/d が $100(m)$ を超えると極めて小さな値となることがわかる。

図6に、層せん断剛性比 $_{ex}K^F/_{in}K^F$ を変化させた場

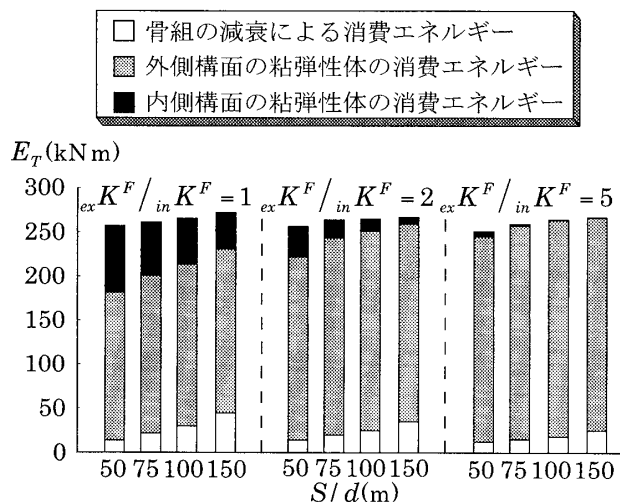


図6 地震入力エネルギーの比較

合における骨組の減衰による消費エネルギーと各構面の粘弾性体の消費エネルギーを比較して示す。横軸は粘弾性体の形状係数 $S/d(m)$ であり、棒グラフの総量は地震入力エネルギーを表している。図6より、層せん断剛性比 $_{ex}K^F/_{in}K^F$ が異なっても、地震入力エネルギーはほとんど変化しないことがわかる。また、層せん断剛性比 $_{ex}K^F/_{in}K^F$ が大きくなるに伴って、層せん断剛性の大きい構面 (外側構面) における粘弾性体の消費エネルギーが増加し、層せん断剛性の小さい構面 (内側構面) における粘弾性体の消費エネルギーが減少することがわかる。

図7に、粘弾性体のせん断力-せん断変形関係を、層せん断剛性比 $_{ex}K^F/_{in}K^F$ が1と5の場合で比較して示す。同図より、層せん断剛性の大きい構面 (外側構面) の粘弾性体のせん断力-せん断変形関係は、大きな履歴曲線を示すことがわかる。この傾向は、図5に示す粘弾性体の最大せん断変形 δ_{max}^{VEM} や図6に示す粘弾性体の消費エネルギーで確認された傾向とも合致しており、層せん断剛性の大きい構面における粘弾性体の消費エネルギーの増加に伴って、同構面における最大層間変位が低減し、図3に示すように最大ベースシヤー係数 C_{Bmax} が減少したと考えられる。

4.2 層せん断剛性比と貼付面積比を変化させた場合の解析結果

本節では、各構面の層せん断剛性比と粘弾性体の貼付面積比を変化させた場合の解析結果について考察する。

図8に各構面の最大層間変位 δ_{max}^F を、図9に粘弾性体の最大せん断変形 δ_{max}^{VEM} を示す。横軸は層せん断剛性

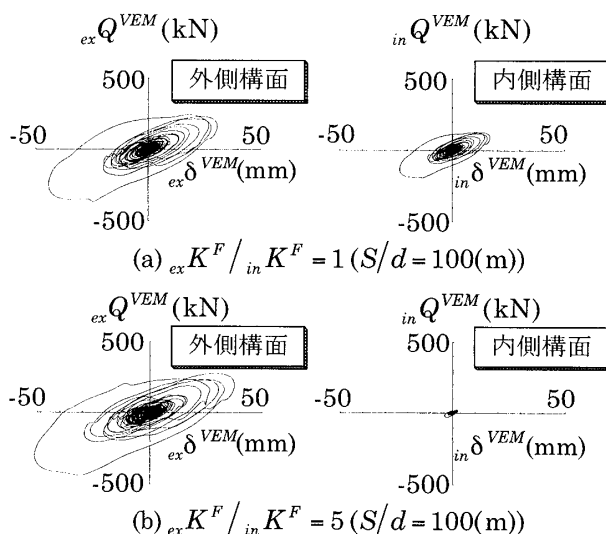


図7 粘弾性体のせん断力-せん断変形の関係

比 $_{ex}K^F / _{in}K^F$ である。横軸に平行な点線は面内変形を無視できる場合 ($_{ex}K^F / _{in}K^F = 1/2$, $_{ex}S / _{in}S = 1/2$) の解析結果であり、プロットは面内変形を考慮した場合の解析結果を表している。ここでは、骨組全体の形状係数が $S/d=100(m)$ の場合の結果を示している。

図 8, 図 9 より、床組の面内変形を考慮した場合における各構面の最大層間変位 δ_{max}^F と粘弾性体の最大せん断変形 δ_{max}^{VEM} が、床組の面内変形を無視したときの結果と概ね合致する $_{ex}S / _{in}S$ が存在し、そのときの $_{ex}S / _{in}S$ の値は $_{ex}K^F / _{in}K^F$ の増加に伴って大きくなることがわかる。このことより、各構面の負担する質量の分布と各構面の層せん断剛性の分布が異なる場合、層せん断剛性比に応じて粘弾性体の貼付面積比を適切に与えることで、床組の面内変形を無視した結果を適用することができるものと考えられる。

まとめ

本論では、地震応答低減機能を有する床構造を適用した 1 層 2 スパン鋼構造弾性骨組を対象に、その地震応答に及ぼす床組の面内変形の影響について考察した。得られた知見を以下にまとめる。

- [1] 本床構造を適用した骨組において、床組の面内変形が生じてても、地震入力エネルギーはほとんど変化しない。
- [2] 各構面が負担する質量の比と各構面の層せん断

剛性の比の差が大きくなるに伴って、骨組全体の最大ベースシヤー係数 C_{Bmax} が減少する。

- [3] 各構面の層せん断剛性の差が大きくなるに伴って、層せん断剛性が大きな構面の最大層間変位 δ_{max}^F は減少し、粘弾性体の最大せん断変形 δ_{max}^{VEM} は増加する。
- [4] 各構面の層せん断剛性が異なる場合であっても、粘弾性体の貼付面積を各構面で適切に与えることで、床組の面内変形を無視した場合と同様の地震応答を示す。

謝辞

本研究は平成 22 年度科学研究費補助金・若手研究 (A) (課題番号: 22686051), ならびに平成 22 年度鋼構造研究助成事業の助成を受けた。また、本論で示した解析結果の一部は、吉村允志君 (大阪工業大学) の御助力によるものである。付記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 聲高 裕治: 鋼構造骨組における床スラブの解体性を考慮した簡易床免震構造システムの開発, その 1 1 層骨組の地震応答, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 49 号, 構造系, pp325~328, 2009.6
- 2) 聲高 裕治, 中村 敦夫, 井上 一朗, 内田 直樹: 1 層鋼構造骨組の床スラブに作用する最大面内せん断力, 日本建築学会構造系論文集, 第 75 巻, 第 653 号, pp.1377~1384, 2010.7

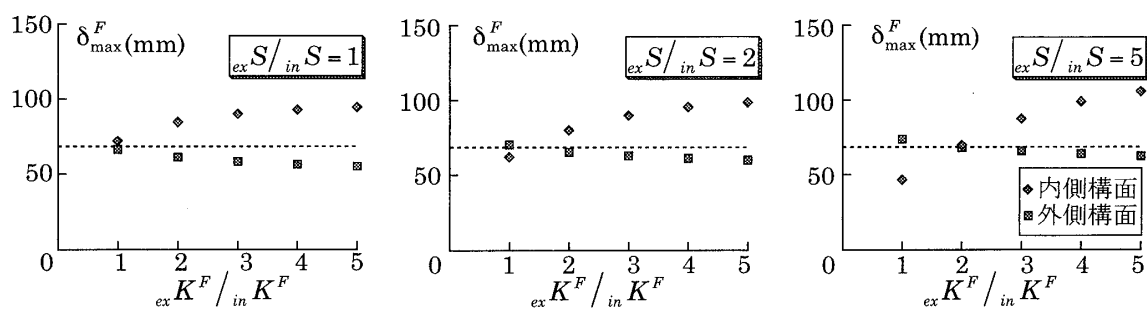


図 8 骨組の最大層間変位

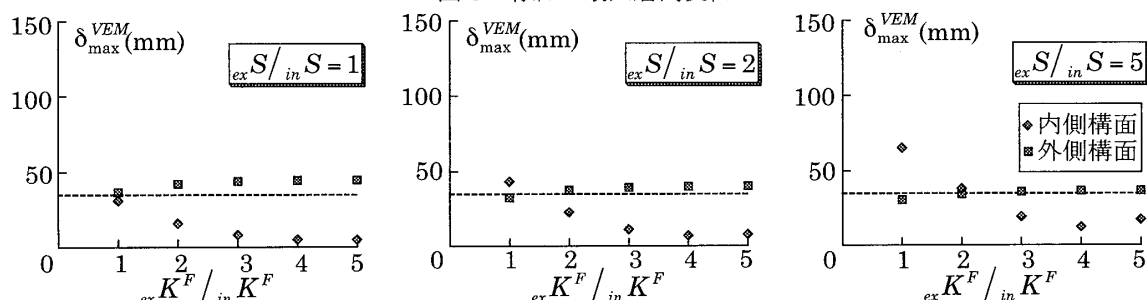


図 9 粘弾性体の最大せん断変形

*1 大阪工業大学大学院工学研究科建築学専攻
*2 大阪工業大学工学部建築学科

Major in Architecture Graduate school of Eng., Osaka Institute of Technology
Dept. of Architecture, Osaka Institute of Technology