

トラス心棒架構とはり心棒の地震応答の相関

Correlations of Seismic Response simulated by Truss Spine Frames and Beam Elements

田川浩之¹⁾

Hiroyuki Tagawa

1) Ph.D. 武庫川女子大学建築学部 教授 (〒663-8121 兵庫県西宮市戸崎町1-13, E-mail: tagawa@mukogawa-u.ac.jp)

Continuous columns over the structural height in multi-story structures mitigate the drift concentration in particular stories and prevent the story collapse mechanism. If the continuous columns are designed with steel truss spine frame, the depth of the frame as a beam becomes large, resulting in rational design. However, when the axial stiffness of the braces is small compared with the upper and lower chords, the shear deformation as a beam becomes dominant, and the flexural stiffness of the member cannot be exerted. In this study, the correlations of seismic response simulated by truss spine frames and corresponding Bernoulli-Euler and Timoshenko beam-elements are investigated.

Key Words : Continuous Column Effects, Steel Spine Frame, Timoshenko Beam, Shear Deformation

1. はじめに

多層建物を高さ方向に貫く心棒は、地震時において、特定層への変形集中を緩和し、層崩壊メカニズムを阻止する^[1]。心棒をRC連層耐震壁や鉄骨トラス架構で設計した場合、大きな部材成が見込まれるため、柱材で設計するよりも合理的である。本研究では、図1(a)のように、鉄骨トラス心棒架構をトラス要素でモデル化する場合、図1(b)のように、鉄骨トラス心棒架構を1本のはりとして見立てはり心棒としてモデル化する場合の地震応答の相関を検討する。鉄骨トラス架構の斜材の軸剛性が大きいと、図2(a)のように、斜材が変形せず、上弦材が圧縮力で縮み、下弦材が引張力で伸び、はりとしての曲げ変形が卓越する。斜材の軸剛性が小さいと、図2(b)のように、斜材が軸方向に大きく変形し、はりとしてのせん断変形が卓越する。本研究では、曲げ変形とせん断変形を考慮できるティモシェンコはり要素を用いて、はり心棒をモデル化する。

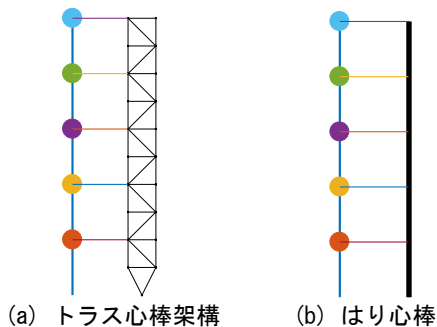


図1 解析モデル

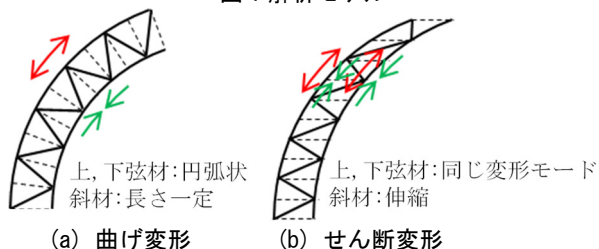


図2 鉄骨トラス心棒架構の変形モード (模式図)

2. ティモシェンコはり要素モデル

ティモシェンコはり要素の剛性行列 \mathbf{k}_{TI} は式(1)で表される^[2]。 E はヤング率、 I は断面2次モーメント、 G はせん断弾性率、 A_s は断面積、 ℓ は部材長、 κ はせん断剛性の補正係数である。鉄骨トラス架構の I として、図3のように、はりで見立て上、下弦材による合成断面として算出する。 A_c は上、下弦材の断面積、 i は鉄骨トラス架構の成である。

$$\mathbf{k}_{\text{TI}} = \mathbf{k}_b + \mathbf{k}_s \quad (1)$$

$$\mathbf{k}_b = \frac{EI}{\ell} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{k}_s = \frac{\overline{GA}_s}{\ell} \begin{bmatrix} 1 & -\ell/2 & -1 & -\ell/2 \\ -\ell/2 & \ell^2/4 & \ell/2 & \ell^2/4 \\ -1 & \ell/2 & 1 & \ell/2 \\ -\ell/2 & \ell^2/4 & \ell/2 & \ell^2/4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\overline{GA}_s = \left(\frac{1}{\kappa GA} + \frac{\ell^2}{12EI} \right)^{-1} \quad (4)$$

式(4)で κ を ∞ にすると、式(1)の剛性行列は、式(5)のベルヌーイーオイラーはりの剛性行列 \mathbf{k}_{BE} と等しくなる。

$$\mathbf{k}_{\text{BE}} = \frac{EI}{\ell^3} \begin{bmatrix} 12 & 6\ell & -12 & 6\ell \\ 6\ell & 4\ell^2 & -6\ell & 2\ell^2 \\ -12 & -6\ell & 12 & -6\ell \\ 6\ell & 2\ell^2 & -6\ell & 4\ell^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

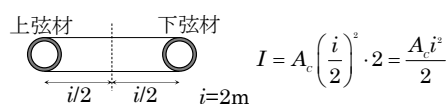


図3 鉄骨トラス心棒架構の断面2次モーメント

3. 想定するRC造建物と鉄骨トラス心棒架構

想定する既存の RC 造建物と耐震補強として付け加える鉄骨トラス心棒を図 4 に示す. 既存の RC 層建物を串団子でモデル化する. 串団子の各層は, 階高 4m, 質量 700 トンとする. 鉄骨トラス心棒架構をはりと見立て, 右側, 左側の鉛直材を上, 下弦材, 斜めの材を斜材, 水平方向の材を水平材と呼ぶ. 上, 下弦材の断面形状を外径 0.5m, 内径 0.4m の中空円形パイプとする. 斜材の断面を上弦材, 下弦材と同じ断面 (外径 0.5m, 内径 0.4m の中空円形パイプ) とした時を斜材の軸剛性率 $\beta=1.0$ として, β を変化させる. 兵庫県南部地震観測波 NF17 を入力させる.

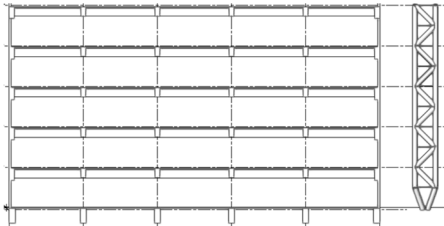
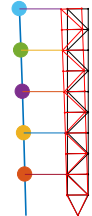


図 4 想定する RC 造建物と鉄骨トラス心棒架構

4. 解析結果

鉄骨トラス心棒架構を(a)トラス要素でモデル化した場合, (b)はり心棒としてモデル化した場合の解析結果を示す. $\beta=1.0$, $\kappa=5/6$ の場合は同程度の最大層間変形角を示す. よって, 鉄骨トラス架構心棒は, はりと見立てた時の曲げ剛性を発揮している. β と κ をととも小さい値 (10^{-10}) に設定した場合は, せん断変形が卓越し, 1層目で著しい変形集中ならびに層崩壊メカニズムを形成している.

(a) 鉄骨トラス架構をトラス部材でモデル化した場合
 $\beta=1.0$ とした場合



5 th SDA	3.701%
4 th SDA	3.554%
3 rd SDA	3.174%
2 ^{ed} SDA	2.801%
1 st SDA	2.712%

図 5 最大層間変形時の変形図

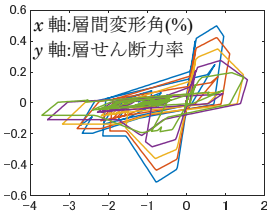
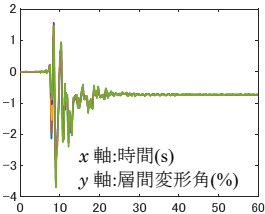
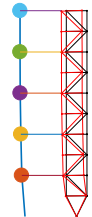


図 6 層間変形角の時刻歴 図 7 串団子の荷重-変形関係
 $\beta=10^{-10}$ (とても小さい値) とした場合



5 th SDA	0.371%
4 th SDA	0.711%
3 rd SDA	1.615%
2 ^{ed} SDA	2.193%
1 st SDA	7.857%

図 8 最大層間変形時の変形図

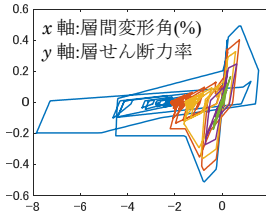
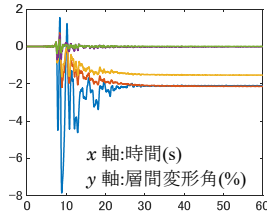


図 9 層間変形角の時刻歴 図 10 串団子の荷重-変形関係
(b) 鉄骨トラス架構をはり心棒でモデル化した場合
 $\kappa=5/6$ とした場合



5 th SDA	3.695%
4 th SDA	3.547%
3 rd SDA	3.163%
2 ^{ed} SDA	2.803%
1 st SDA	2.700%

図 11 最大層間変形時の変形図

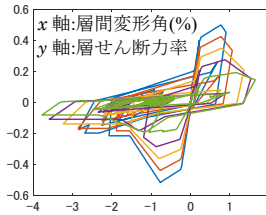
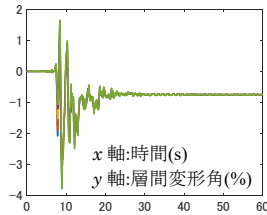
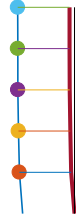


図12層間変形角の時刻歴 図13串団子の荷重-変形関係
 $\kappa=10^{-10}$ (とても小さい値) とした場合



5 th SDA	0.371%
4 th SDA	0.711%
3 rd SDA	1.615%
2 ^{ed} SDA	2.193%
1 st SDA	7.857%

図14最大層間変形時の変形図

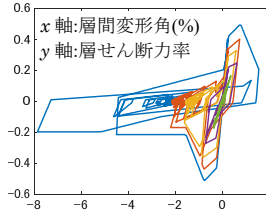
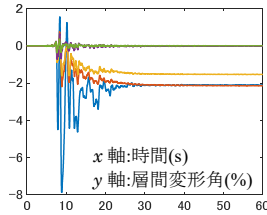


図15層間変形角の時刻歴 図16串団子の荷重-変形関係

5. おわりに

鉄骨トラス心棒架構の斜材の軸剛性率 β と, ティモシェンコはり要素でモデル化した場合のせん断剛性の補正係数 κ には相関があることを確認した. 今後, β と κ の間の具体的な関係式や斜材が降伏する場合の応答など検討する.

参考文献

[1] 田川浩之, グレゴリー マックレイ, ローラ ローズ: 動的安定性の観点からみた鋼構造骨組における心棒効果 その 1, その 2, 日本建築学会構造系論文集, No.618, 2007.8, No. 650, 2010.4
[2] 山田貴博: 高性能有限要素法, 計算力学レクチャーシリーズ⑨, 丸善株式会社, 平成19年1月