

1. 序

環境負荷削減を目的として損傷制御構造の一つの形式であるサステナブルビル構造システム（以下 SBS）が提案され、昨年度の研究<sup>1)</sup>により設計法が確立した。

本研究では昨年度試設計されたビルモデルの 1/5 縮小模型をつくり、SBS における接合部の張力導入実験を行い、張力導入手順と張力管理の方法について検討する。

2. 実験概要

昨年度試設計された 10 層 5 スパンの SBS ビルの上部隅角部から 3 層 2 スパンを取り出した部分の 1/5 縮小模型（S モデル）を製作する（図 1、表 1）。また鋼棒は M12 で、SS400 の全ネジを使用する。

2.1 張力導入方法

張力導入について、接合部（4 本の鋼棒）当たり張力導入パターンを決定後、ケース 1 とケース 2 を検討する。

1) 接合部当たりの張力導入パターン

たすき掛け、左右順、上下順の 3 パターンで張力導入を行い、それぞれの挙動を確認する（図 2）。

2) 張力導入順序

張力導入は次の 2 ケースを行い張力損失の過程を追う。

- ・ケース 1：中央柱から側柱へ（B→C→A→D）
- ・ケース 2：側柱から中央柱へ（A→B→C→D）

尚、張力は最終ステップで補正するものとし、それ以外での再導入は行わない。一次締めとして JASS6 に倣い下限値の 85% の張力導入し、その後本締めを行う。

2.2 導入張力値

初期張力として導入する軸力は、鋼棒を想定して引張強さの 1/3 の目標値に対して下限値と上限値を設定する。

ただし、設計値は下限値を満たすとし、目標値の 90% を下限値、目標値の 120% を上限値とする。

$$M12:A=113.1\text{mm}^2 \quad A_o=(10.863/2)^2 \times \pi = 92.68\text{mm}^2$$

$$T_y = A_o \times 400 = 37.1\text{kN}$$

$$\text{下限値} : 37.1\text{kN} \times 1/3 = 12.367\text{kN}$$

$$\text{目標値} : 12.367\text{kN} \div 0.9 = 13.7\text{kN}$$

$$\text{上限値} : 12.367\text{kN} \times 1.2 = 14.8\text{kN}$$

2.3 張力管理

プレート型トルクレンチを使用（450kgf・cm）し、歪ゲージより測定を行う。張力管理は X1 面で行い、歪ゲージは各接合部上端部屋外側の鋼棒に貼付する。

張力導入に伴う柱の倒れの測定にあつては、柱の上部に下げふりをつけ、直角定規で基準点からの変形を確認する。計測は C1, C3, C4 柱の各層梁の上端位置で行う。各節点は図 1 平面図の通り nA~nD で表す（n：部材が配置されている階数）。また、柱の倒れは JASS6 に従い最大限界許容差以下とする。本実験における許容値は以下の通りである。

$$\cdot \text{柱の倒れ } e \leq H/700 \text{ かつ } e \leq 15/5\text{mm}$$

$$\leq 2400/700 \text{ かつ } e \leq 3\text{mm} \text{ よって } e \leq 3\text{mm}$$

3. 実験結果

3.1 接合部当たりの張力導入パターン

接合部の張力導入パターンごとに 1~3 層まで全ての張力導入完了後の各層の柱の倒れを図 3 に示す。たすき掛け、上下、左右順で張力導入したデータを比較すると、いずれも許容範囲内に収まっており、挙動の傾向も同じであった。柱の倒れに関しては、3 パターンの導入方法に大きな違いが見られなかった。

3.2 張力導入順序

1 接合部当たり 4 本ある鋼棒への張力導入パターンは建物全体の變形に影響を与えなかったため、たすき掛けを選定しケース 1 とケース 2 について施工した。各ケースにおける 1D の張力導入の実験結果を表 2 に示す。A は一次締め後、B は本締め後の張力を表す。張力損失の判定として、本締め後張力損失した値が目標導入張力の上下限値に収まっているものを OK とし、それ以外のを NG とする。表の縦軸は建物全体の張力導入順を示す（1B→1C→1A→1D→2B→...3D）。パーセンテージは 1D の導入張力を 100% として張力損失を表示する。

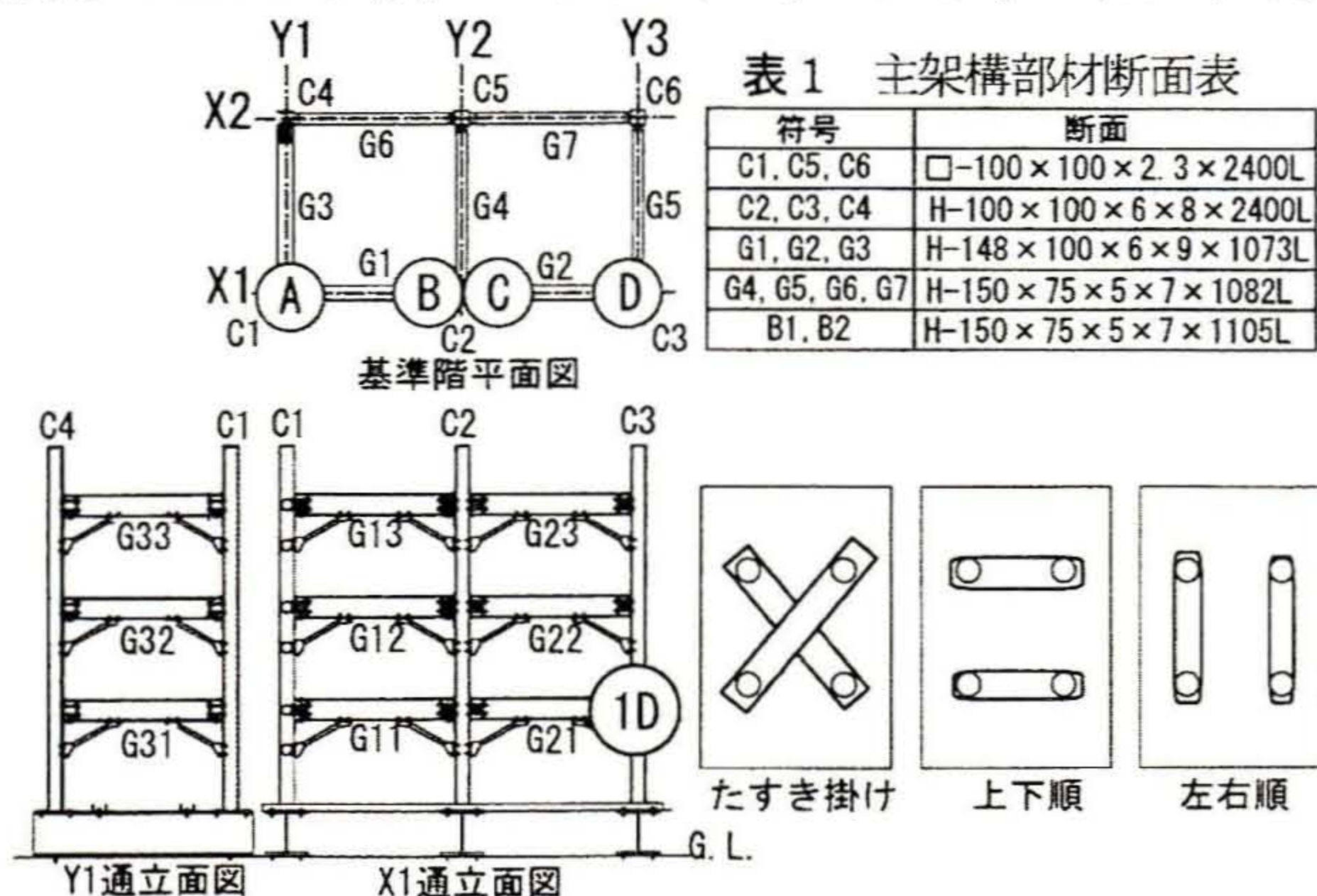


表 1 主架構部材断面表

符号	断面
C1, C5, C6	□-100×100×2.3×2400L
C2, C3, C4	H-100×100×6×8×2400L
G1, G2, G3	H-148×100×6×9×1073L
G4, G5, G6, G7	H-150×75×5×7×1082L
B1, B2	H-150×75×5×7×1105L

図 1 S モデル

図 2 張力導入パターン

表2 1Dにおける張力値

張力導入順	ケース1 (kN)	%	ケース1 (kN)	%	判定	ケース2 (kN)	%	ケース2 (kN)	%	判定
1	A 0	-	A 9.62	94.6	-	A 0	-	A 9.64	91.4	-
2	A 0	-	A 9.68	95.1	-	A 0	-	A 9.62	91.2	-
3	A 0	-	A 9.62	94.6	-	A 0	-	A 9.62	91.2	-
4	A 10.2	100	B 14.7	100	OK	A 10.6	100	B 14.7	100	OK
5	A 10.1	99.4	B 14.7	99.6	OK	A 10.6	100	B 14.1	96.2	OK
6	A 10.0	98.3	B 14.6	98.9	OK	A 10.3	98.0	B 14.0	95.6	OK
7	A 9.83	96.6	B 14.5	98.4	OK	A 10.0	95.1	B 14.0	95.7	OK
8	A 9.70	95.3	B 14.4	98.1	OK	A 9.87	93.5	B 14.0	95.2	OK
9	A 9.68	95.1	B 14.4	98.0	OK	A 9.54	90.5	B 13.8	94.2	OK
10	A 9.70	95.3	B 14.4	97.7	OK	A 9.52	90.3	B 13.7	93.4	OK
11	A 9.64	94.8	B 14.3	97.6	OK	A 9.71	92.1	B 13.8	93.8	OK
12	A 9.60	94.4	B 14.3	97.5	OK	A 9.70	91.9	B 13.7	93.1	OK

・一次締め目標値：12.367×0.85=10.5kN  
 ・本締め目標値：14.8kN

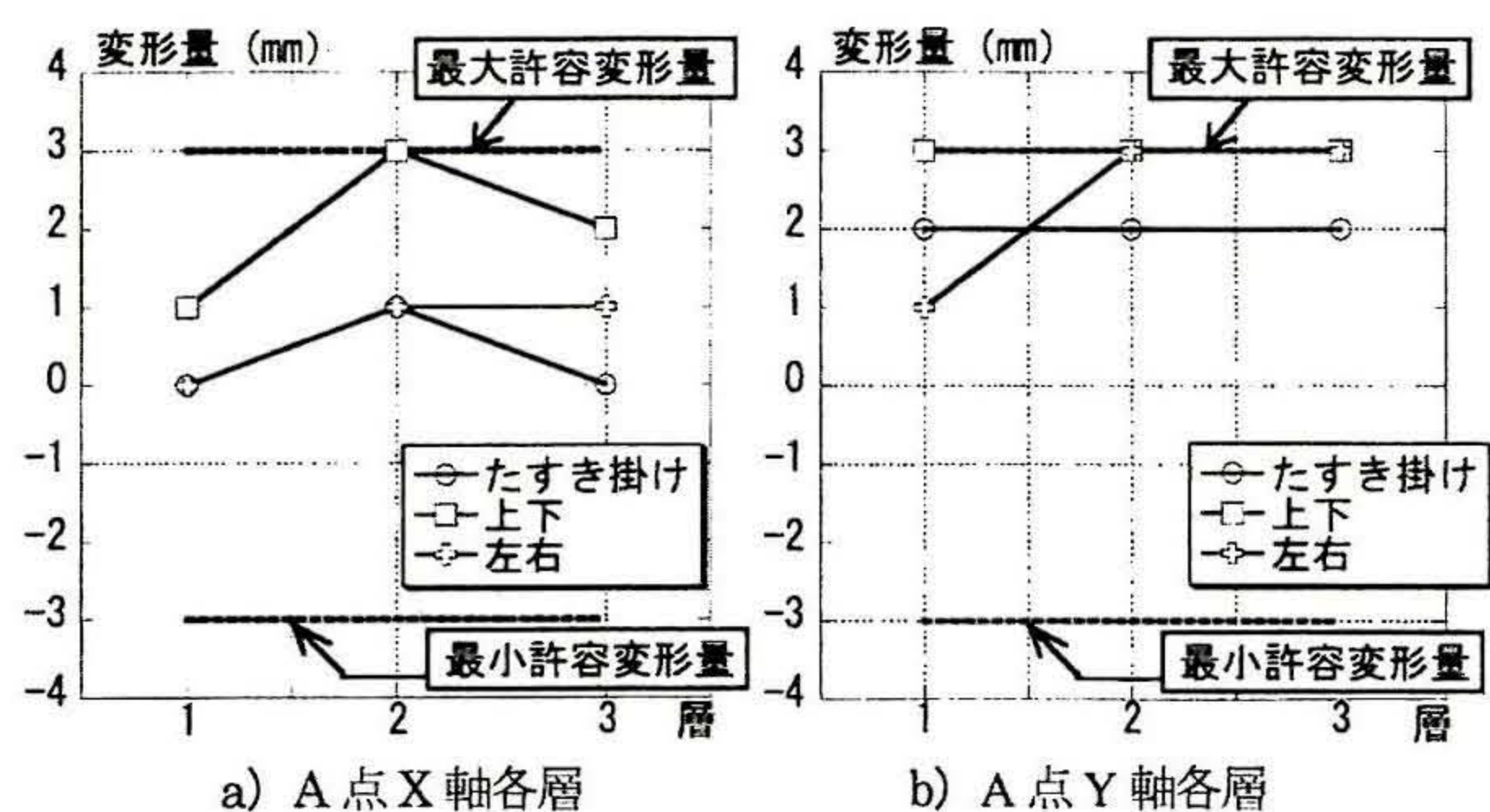


図3 3パターンでの張力導入による柱の倒れ

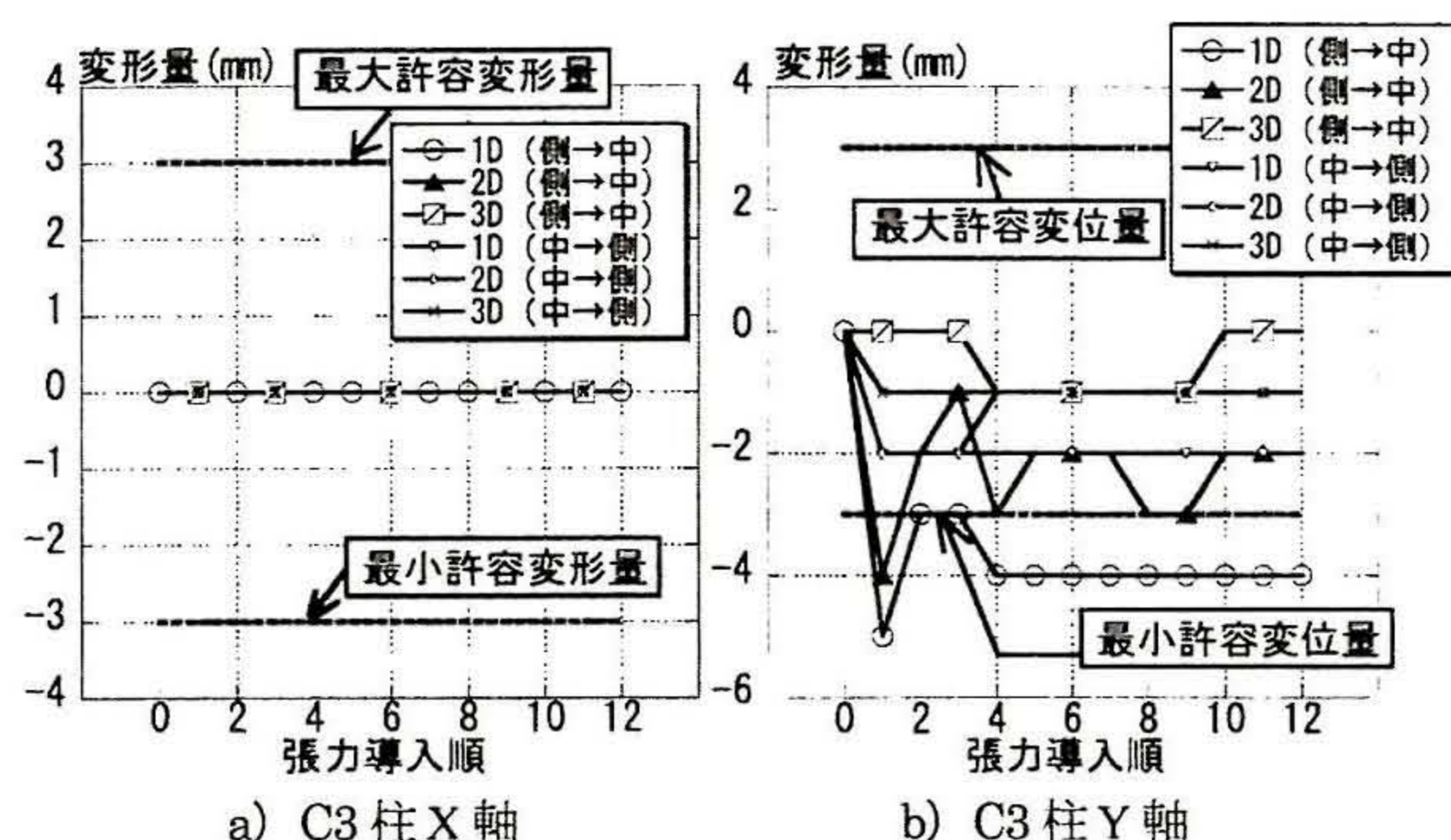


図4 中央柱、側柱からの張力導入による柱の倒れ

1) ケース1

一次締め以降の損失張力の最大値が 0.58kN (一次締めの導入張力値の 5.7%)、本締め以降が 0.40kN (本締めの導入張力値の 2.7%) であった。一次締めで損失張力の割合が大きかったのに対し、本締め以降での損失が小さかった理由として、Sモデルが 1/5 縮小モデルであり、一次締めは導入張力が小さかったことで安定した張力を導入することができなかったと考える。

また、柱の倒れについても X 軸、Y 軸ともに最終状態に至るまで許容値を脱することはなかった。

2) ケース2

一次締め以降の損失張力の最大値が 0.98kN (一次締めの導入張力値の 9.2%)、本締め以降が 1.0kN (本締めの導入張力値の 6.8%) であった。本締め後の判定は OK であるが、ケース1に比べ損失張力が大きいという結果になった。よって、側柱から張力導入した際、各層最後に張力を入れる C3 柱が C1、C2 柱に引っ張られ、つり

合いが取れなくなった状態で張力導入したため、張力損失が生じたと言える。

柱の倒れの計測から最終状態で許容範囲を超えるものが1箇所(1D)あった。面内方向は変形自体が少なく一定で安定していたのに対し、面外方向では C3 柱で大きな倒れが生じた。張力導入に伴い、つり合いが維持できず構面がねじれたことが原因であると考えられる。

理論上 SBS ビルの柱梁接合部におけるクリアランスは0を目標としている。クリアランス0の場合、実際には施工不可能な条件であるため、本実験では梁をやや短くしプレート等を挟み込んでクリアランスを0とした。しかし、今回の結果から鋼棒を締め付けることにより成立する SBS では、微小なクリアランスも柱の倒れにつながるということが分かった。

また、中央柱から張力導入したものよりも面外方向の変形が大きいという結果となった(図4)。尚、これらの図は各接合部に張力導入した際の経過を示しており、接合部全12カ所を横軸としている。

4. 考察

ケース2の結果から張力導入時の張力損失と、微小クリアランスが柱の倒れを起こしていると考えられる。これは接合部が隣り合う接合部同士でつり合いを保っているためである。ケース1で、中央から対称に張力導入をしたことでつり合いが維持され、本締めの際張力損失が僅かで構面のねじれが生じなかったことから推測できる。本実験により中央から順に対称に張力導入することで張力損失が抑えられ、最終状態での損失が小さくなるということが分かった。

よって、柱の倒れと張力損失には密接な関係があり、張力損失を生じさせないことが SBS ビルを施工する上で最重要課題となる。すなわち、SBS ビルを施工する際、中央柱から対称に順次側柱へ向かって張力導入することで、張力損失が少なくなる。また、柱梁接合部部分のクリアランスをできる限り小さくすることで柱の倒れが小さくなる。

5. 結

本研究では昨年度の試設計をもとに SBS ビルの 1/5 縮尺モデルを作成し、張力導入手順と張力管理の方法について検討した結果、以下の知見を得た。

- (1) 接合部の鋼棒(4本)の張力導入パターンは柱の倒れの影響は僅かである。
- (2) 張力導入順序として中央柱から側柱に向かって導入することが望ましい。

参考文献

1) 島有希子、古川純也、加藤貴志: サステナブルビル構造システムの設計法の提案、日本建築学会構造系論文集、第640号 pp. 1179-1185. 2009. 6