免震レトロフィット施工時における既存躯体への変形抑制対策
The control measures of the existing building's vertical displacement in Base Isolation Retrofit Work

菊地　雅裕 *
Masahiro Kikuchi
高橋　優 *
Masaru Takahashi
松村　聡 **
Satoshi Matsumura
藤原　哲彦 *
Tetsuhiko Fujiwara
原　智紀 **
Tomonori Hara
芹澤　浩次郎 ***
Kojiro Serizawa

要　約

既存建物の耐震性能を向上させる免震レトロフィット工事において，種類の異なる免震装置を組み合わせて使用した場合に，ジャッキダウン後の免震装置鉛直剛性の違いから各基礎間で相対変位が発生し，上部既存躯体に有害な影響を与える可能性がある．

当工事において，ジャッキダウン時に各免震装置上部既存躯体の沈下量を均等にして，相対変位を抑制し上部既存躯体への有害な変形発生を低減する手法を確立した．

具体的には上部アンカープレートと免震装置の間に各装置の縮み量の差に相当する隙間を設けて，上部免震基礎を構築後，ジャッキダウンすることで上記の問題を解決した．

本報告では，実際の工事に当該技術を採用した計画と実施結果を報告する．

目　次

§1. はじめに
§2. 工事概要
§3. 施工の課題及び相対変位抑制対策
§4. 施工結果
§5. まとめ

§1. はじめに

税務大学校は，国家公務員として採用された税務職員に対して必要な研修を行う機関である．公共建築物の耐震化の促進が求められる昨今，ここ税務大学校東京研修所についても耐震診断が行われ，その結果耐震性が不足していると判断された．本建物は1年を通して研修生たちの宿泊・生活の場として使用されている．本工事は供用中の建物を『居ながら』免震化させる，免震レトロフィット工事である．

本工事において課題となった鉛直剛性の異なる3種類の免震装置に既存建物の荷重を移行させるジャッキダウン完了後に，各基礎の相対鉛直変位の発生が懸念された．この課題を解決するために実施した免震装置種類毎の縮み量の違いによる相対変位の発生抑制対策について報告するものである．

写真－1　建物全景

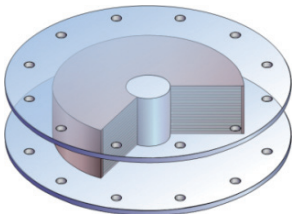
写真－2　免震層全景

*　関東建築(支)税務大学校(出)
**　関東建築(支)
*** 本社建築設計部

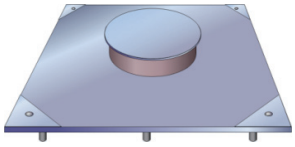
§2. 工事概要

対象建物は，地下階のない地上 7 階の鉄筋コンクリート造建物で，架構形式は，X 方向がラーメン構造（B・D 棟は耐震壁付），Y 方向が耐震壁付ラーメン構造である．1 階床上部で EXP. J を介して 5 棟に分かれているが，1 階レベルで一体であるため，既存基礎梁下部に新たに耐圧版をもうけ，基礎とのあいだに免震装置を設置し，建物全体を免震化する基礎免震形式を採用している．

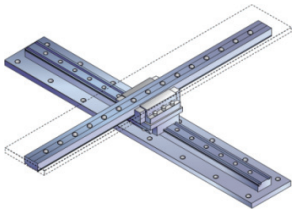
・工 事 名：税務大学校東京研修所学寮棟建築改修その他工事
・発 注 者：国土交通省　関東地方整備局
・設 計 者：国土交通省　関東地方整備局　営繕部
　　株式会社　あい設計
・工事場所：千葉県船橋市
・工事工期：平成 22 年 12 月 23 日～平成 26 年 12 月 25 日
・用　　途：寄宿舎（学寮棟）
・延床面積：10,760 m^2
・建物高さ：29.9 m
・構造種別：鉄筋コンクリート造
・階　　数：地上 7 階 PH2 階
・竣　　工：昭和 47 年



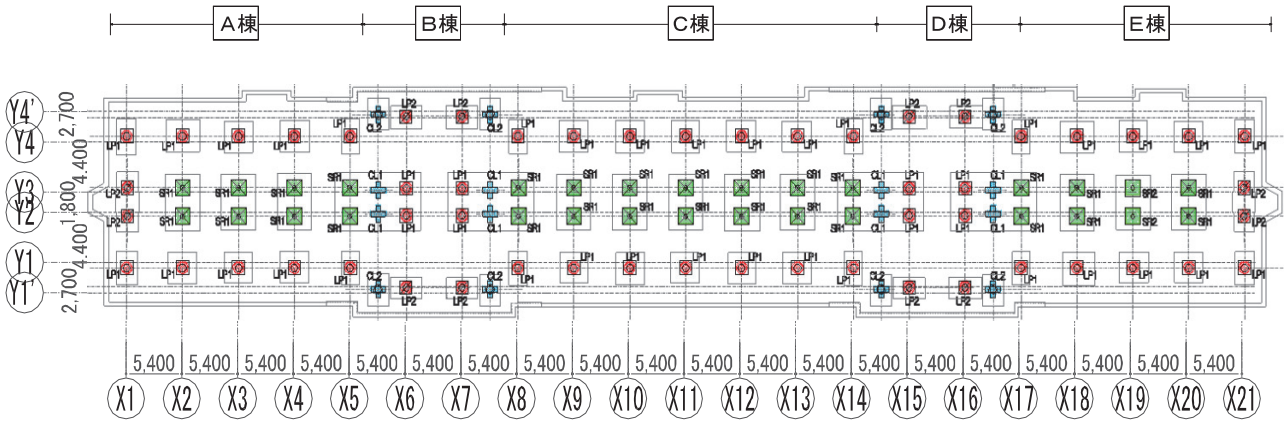
鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）



弾性すべり支承（SR）



十字型直動転がり支承（CLB）



図－1　免震装置配置図

積層ゴム支承 (LRB)	凡 例	弾性すべり支承 (SR)	凡 例	直動転がり支承 (CLB)	凡 例

§3. 施工の課題及び相対変位抑制対策

3－1　施工の課題

免震装置には，上部構造と下部構造との縁を切る絶縁機能，上部構造を支える支持機能，揺れを減衰させる減衰機能，地震がおさまった後に上部構造を元の位置に戻す復元機能が求められる。これらの機能を備えるべく，免震建物は，一般的に種類が異なる 2 以上の免震装置を組み合わせて使用している．

免震レトロフィット工事では，基礎下に設けられた仮受けジャッキにより建物荷重を保持した後，基礎下躯体構築，免震装置設置，既存基礎と免震装置間の躯体構築後，ジャッキダウンを行う．

そのなかで課題となるのが，上部構造による荷重を仮受けジャッキから免震装置へ移し変えていく際に，上部構造体に有害な変形を発生させないように，上部構造の鉛直方向への変位量（鉛直変位量）を均一に保つことである．一方で，免震装置のもつ剛性の差や，免震装置が分担支持する上部構造の荷重の違い等が原因となり，ジャッキダウン後の免震装置の鉛直変位量を一様に保つことは簡単ではない．

3－2　従来技術

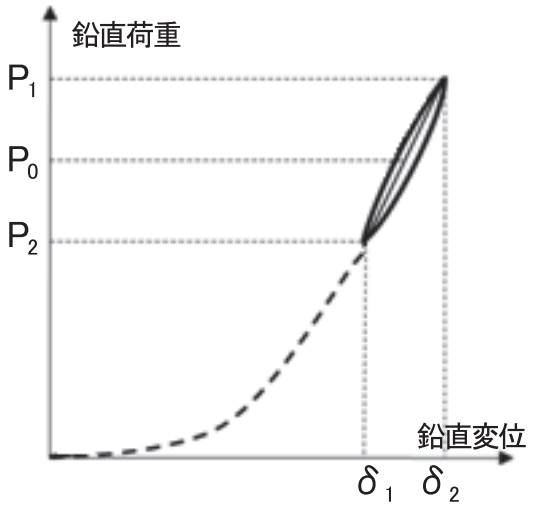
設置する免震装置の鉛直剛性と免震装置に作用する軸力との関係を求めておいて，実際の軸力を受けることで生じる縮み量を予測する．予測した縮み量をもとに免震装置の設置レベルを決めて免震キャピタルグラウトの厚みで調整する方法（特許文献 1 参照）．

また，複数の積層ゴム型免震装置を使用する場合に限るが，各免震装置の設計上の最終変形量を与えるプレストレスを加えた状態で，設置場所に挿入し，上部構造と免震装置を連結した上で，そのプレストレスを解放する技術も提案されている（特許文献 2 参照）．

しかし，すべり支承や転がり支承を免震装置として使用する場合，これらの装置は鉛直変位量が小さく，グラウトの厚みを増減して調整する方法や，プレストレスを加えて設置前に変形を与える方法を適用することが困難であった．

3－3　免震装置の縮量

ゴムを使用している免震装置は性能にばらつきがあるため，鉛プラグ入り積層ゴム支承・弾性すべり支承については工場にて全数性能試験を実施した．その結果をもとに各免震装置において設計鉛直荷重が載荷した場合の鉛直変位を算出して 3 種類の免震装置の予想縮量を設定した．（**図－ 2**）（**写真－ 3**）（**表－ 1**）



図－ 2　鉛直性能グラフ
（鉛プラグ入り積層ゴム支承）

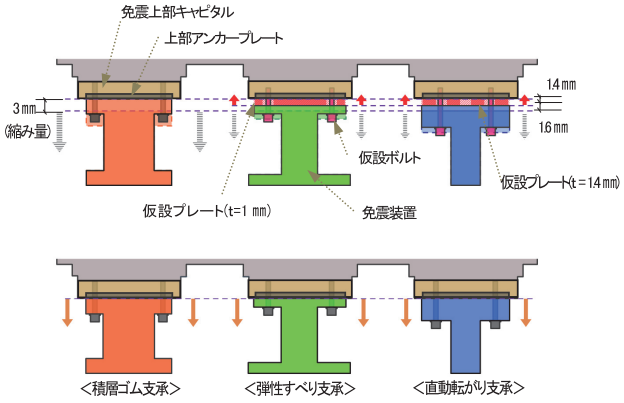
写真－ 3　免震装置性能試験状況

表－ 1　免震装置の予想縮量一覧表

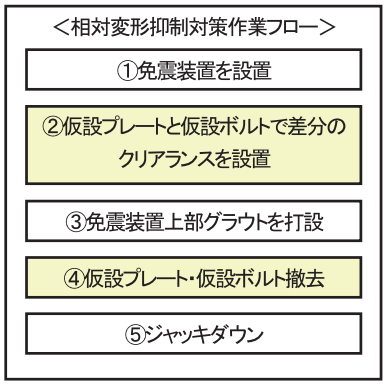
		設定免震装置縮量（mm）	予想なじみ量（mm）	設定合計縮量（mm）	積層ゴムを基準とした縮量の差（mm）
	積層ゴム支承	2.5	0.5	3.0	
	弾性すべり支承	1.5	0.5	2.0	1.0
	直動転がり支承	1.1	0.5	1.6	1.4

3－4　相対変位抑制対策

免震装置設置時に上部アンカープレートと免震装置の間に鉛プラグ入り積層ゴム支承を基準とした免震部材の縮量の違いの差分（弾性すべり支承→1 mm，直動転がり支承→1.4 mm）を仮設プレートと仮設ボルトにて設け，免震上部キャピタルの躯体を構築した．鉛直変位量は，積層ゴムが最も大きく，弾性すべり支承と直動転がり支承と変位量が小さくなる．このため，鉛直変位量が最も大きい積層ゴムには仮設プレートは配置せず，弾性すべり支承及び直動転がり支承に仮設プレート及び仮設ボルトを設置する。そうすることで，ジャッキダウン完了後に，免震装置種類毎の縮量の違いによる相対変位の発生を抑制することができる．（**図－3，4，5，6**）（**写真－4，5**）

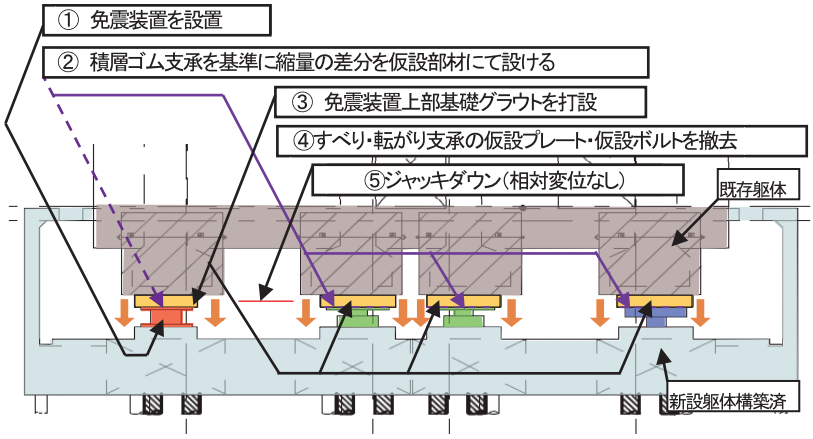


図－3　縮み量を制御する仮設プレートの効果の概略図

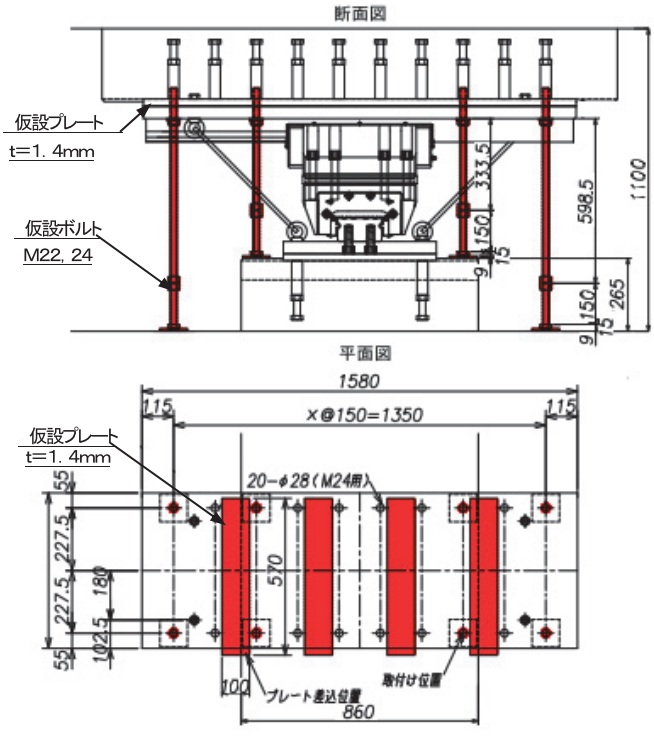


※②と④が対策として追加したフロー

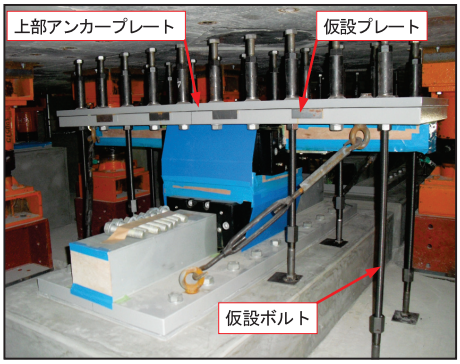
図－4　相対変形抑制対策作業フロー



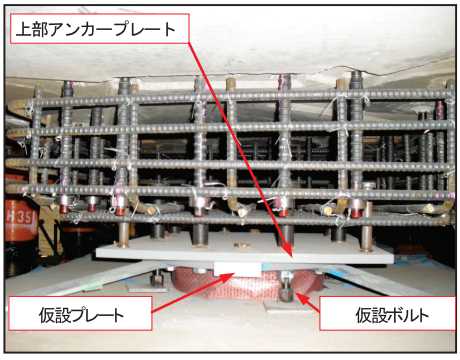
図－5　免震装置の種類による縮量差の制御概略図



図－6　免震装置プレート設置図
（直動転がり支承）



写真－4　直動転がり支承設置状況



写真－5　弾性すべり支承設置状況

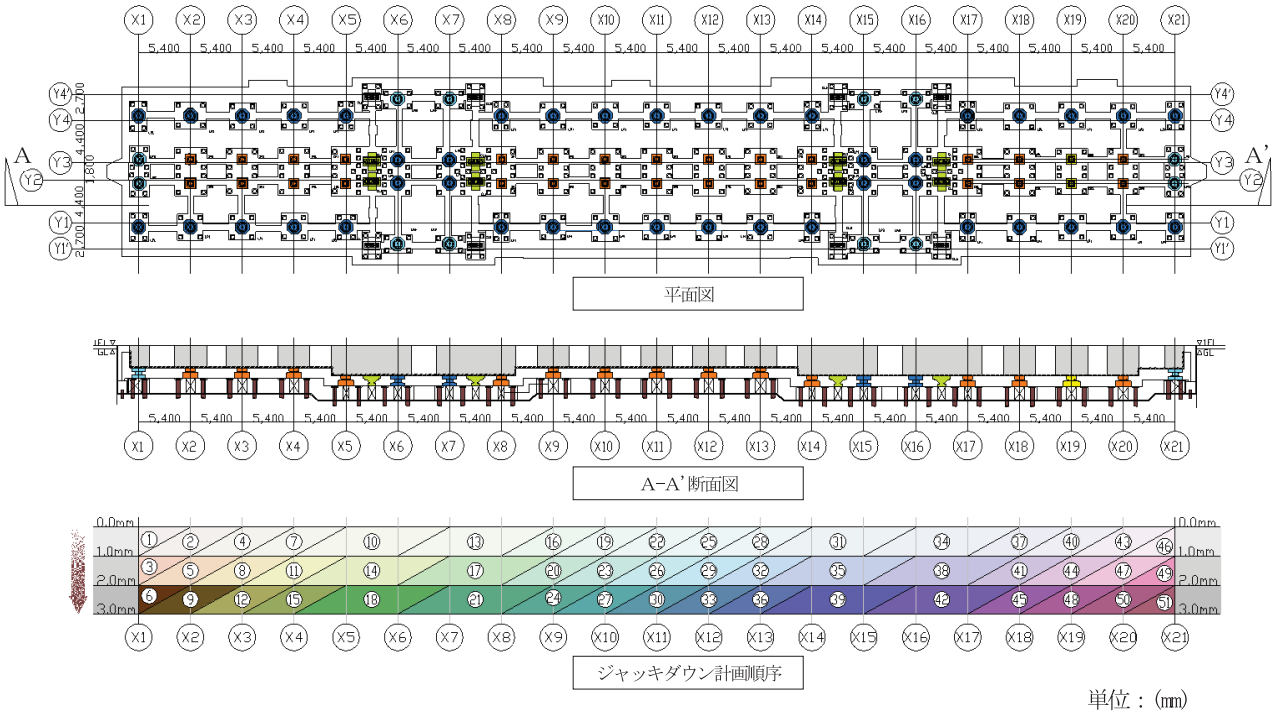
§4. ジャッキダウン計画及び施工結果

4－1　ジャッキダウン計画

ジャッキダウンはX通りを1ブロックとして1 STEPを1 mmとし**図－7**のジャッキダウン順序グラフに従って行った．管理方法は免震基礎上下に鉛直変位計及び荷重計を設置して隣接する基礎の変位差の管理値を一次管理値1/4000, 二次管理値1/3000（1/2000 日本建築学会基準）とした．（**表－2**）（**図－7**）

表－2　基礎の相対変位差の管理目標と許容値

	一次管理値	二次管理値	許容値	備考
柱スパン	1/4000	1/3000	1/2000	
4400	1.10	1.46	2.20	Y方向
5400	1.35	1.80	2.70	X方向

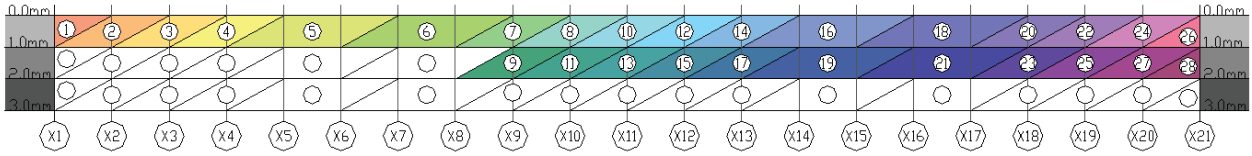


図－7　ジャッキダウン計画図

4－2　ジャッキダウン施工結果

ジャッキダウンはX通りを1ブロックとしてX 1通りから行ったがX 1～X 7通りでは変位量（平均－1.48 mm）が予想変位量（－3 mm）より小さかった為，計画の3段階ジャッキダウンが1段階で終了した．また，X 8～X 21通りでは変位量（平均－2.17 mm）となりジャッキダウンは2段階となった．（**写真－6**）（**図－8**）

写真－6　ジャッキダウン状況



図－8　ジャッキダウン実施順序

X通り間の基礎の相対変位差は，平均で0.27 mm（1/53262）となり目標値の一次管理値1.1 mm（1/4000）以内で納めることが出来た．

実際の変位量が予想変位量より小さいのでジャッキダウン完了後もマイクロゲージにて積層ゴム支承の手動計測を行った．その結果，**図－9**で示すようにジャッキダウン終了時は変位量が小さかったスパン（X 1 ～ 7）ほど時間経過による変位量が大きいことが分かった．全ジャッキダウン後1 ～ 2週間で概ね変位がなくなりが完全に免震装置に移行したと考えられる．

各免震装置の平均沈下量は**表－3**の通りで，積層ゴムを基準とした各沈下量の差は，0.4 mmと0.3 mmであり，対策の効果が確認出来た．（**表－3，4**）（**図－9**）

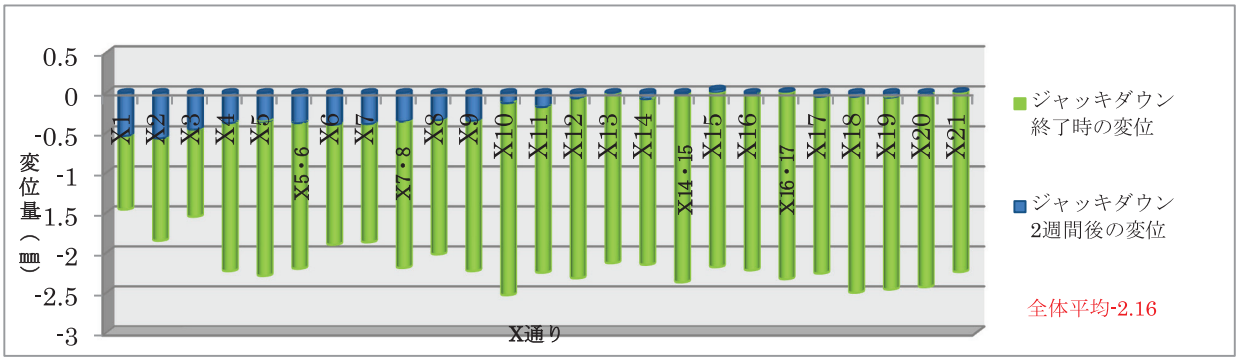
表－3　沈下量表

		予想沈下量（mm）	平均実測沈下量（mm）	積層を基準とした沈下量の差（mm）
	積層ゴム	3	1.8	
	弾性すべり	3	2.2	0.4（1.0）
	直動転がり	3	2.1	0.3（1.4）

※注（　）内は対策なしの時の予想値

表－4　ジャッキダウン終了時の変位表

	X1	X2	X3	X4	X5	X5･6	X6	X7	X7･8	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X14･15	X15	X16	X16･17	X17	X18	X19	X20	X21	
Y4	-0.86	-1.36	-1.04	-1.61	-1.81	-1.69	-1.71	-1.83	-2.01	-1.80	-1.71	-2.18	-2.03	-2.12	-2.11	-2.12	-2.50	-2.45	-2.34	-2.39	-2.16	-2.39	-2.41	-2.31	-2.03	
Y3	-0.85	-1.34	-1.31	-2.10	-2.08	-1.86	-1.25	-1.35	-1.78	-1.95	-2.09	-2.96	-2.37	-2.39	-2.38	-2.09	-2.18	-2.05	-2.15	-2.29	-2.22	-2.54	-2.57	-2.61	-2.26	
Y2	-0.97	-1.35	-1.15	-2.13	-2.05	-1.75	-1.39	-1.34	-1.85	-1.66	-2.23	-2.76	-2.18	-2.42	-2.31	-2.18	-2.37	-2.06	-2.01	-2.25	-2.27	-2.48	-2.41	-2.53	-2.40	
Y1	-1.01	-1.08	-0.85	-1.54	-1.76	-1.98	-1.63	-1.41	-1.68	-1.30	-1.47	-1.70	-1.70	-2.07	-1.61	-1.87	-2.35	-2.16	-2.30	-2.40	-2.18	-2.37	-2.22	-2.16	-2.26	全体平均値
スパン平均	-0.92	-1.28	-1.09	-1.85	-1.93	-1.82	-1.50	-1.48	-1.83	-1.68	-1.88	-2.40	-2.07	-2.25	-2.10	-2.07	-2.35	-2.18	-2.20	-2.33	-2.21	-2.45	-2.40	-2.40	-2.24	-1.96



図－9　最終変位量グラフ

§5. まとめ

本工事において，変位抑制対策を問題なく施工することが出来た．今後の検討項目として，次の3点があげられる．

①上部躯体の剛性が高い場合，広範囲をジャッキダンしないと免震装置に上部建物荷重が移行しにくいと推測される．

②全てのジャッキダウンを完了しても時間経過により変位が発生した．建物荷重の免震装置への移行には時間を要すると考えられる．

③免震装置の縮量が予想値より小さいことから設計鉛直荷重より実際の鉛直荷重が軽いと推測される．

東日本大震災以降，地震に対する免震建物の優位性が広く認められ，古い建物の耐震補強として免震レトロフィット工事は，今後も重要文化財や移転が難しい建物では多く採用されると予想される．

免震レトロフィット工事では，いかに上部既存建物に影響を与えず免震化することが重要である．本工事で試みた相対変位抑制対策方法は確実で作業性及び品質管理も簡単な汎用性の高い方法であったと考える．しかしながら，建物の剛性や実際の上部荷重が異なることにより，ジャッキダウン後の変位が計画通りにならない場合もあるので，上部躯体に有害な変形が発生しないように変位計測値を確認しながら目標管理値の相対変形角以内になるよう状況に応じて制御しながらジャッキダウンすることも重要である．本工事で試みた相対変位抑制対策方法が今後の類似工事において一助となることを願っている．

本工事を施工するにあたり，御支援を頂いた皆様に厚く御礼を申し上げます．

参考特許文献

1）特開2003 － 097087号公報
2）特開平10 － 280705号公報