

早稲田大学早稲田キャンパスD棟（仮称）



中島 隆裕
久米設計



福田 光俊
同

1 はじめに

早稲田大学（旧 東京専門学校）は1882年（明治15年）に創立し、大隈講堂（国指定重要文化財）をはじめとして多くの歴史的建築物を保有する伝統ある大学である。

本計画は1933年（昭和8年）竣工から81年もの年月が経過し、その間増築工事を繰り返して現在の姿に至る早稲田キャンパス3号館（以下3号館）の建て替え計画である。計画敷地がキャンパス内で特に景観継承を意識したエリアに位置しており、大隈講堂と大隈像を結ぶメインモールに対して周辺建物との連続性に配慮することが本計画で求められた。このため、政治経済学術院の新校舎として高機能化だけでなく伝統ある風景を再生し、将来へ繋げることを目的として既存建物のメインモールに面する正面半分を当時の外観通りに再現している。

本建物で採用した構造方法は、構造物の平面的な振れ及び高さ方向の剛性差による損傷集中を制御することができる制震構造である。この構造方法を実現するために積層ゴム支承が重要な役割を果たしている。積層ゴム支承を地震力を抑制する免震装置として機能させるのではなく、再現構造物（以下再現部）と再現部に隣接して増築される高層構造物（以下高層部）の二つの建物を構造的に分離させる水平可動支承として使用している。このため、性能評価は免震構造としてではなく制震構造として申請し、大臣認定を取得している。以下、本稿においては積層ゴム支承の新たな使用方法及び展開の一例を紹介する。

2 建築計画概要

建 築 主：早稲田大学
建 設 地：新宿区西早稲田1丁目6-1、20-1
設 計・監 理：（株）久米設計
施 工：戸田建設（株）
用 途：大学
敷 地 面 積：73673.09m²
建 築 面 積：2340.59m²
延 床 面 積：28525.21m²
階 数：地下1階 地上14階
軒 高：59.75m
建 物 高 さ：61.65m
最 高 高 さ：67.84m
構 造 種 別：鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造
基 礎 形 式：直接基礎（べた基礎）



図1 外観模型

3 本建物の構造概要

本建物は、前述のとおり建て替え時に取り壊された3号館とほぼ同一の外観となる再現部と増築された高層部からなっている。高層部は、再現部に大きく張り出した逆L字型の形状で、張り出部分が再現部の屋上部分に覆い被さっている。再現部は4階建の鉄骨鉄筋コンクリート造の建物で制震ダンパーを設置した耐震壁付きラーメン構造としている。再現部の制震ダンパーは摩擦壁ダンパーとし各階XY方向2台ずつ計4台設置している。又、再現部は建設された当時の外観に復元するため、建物外周の雑壁には耐震スリットを設けていない。再現部の地震力を如何にして制御するかが設計課題の一つとなっている。高層部は14階建て、柱を鉄骨鉄筋コンクリート造及びコンクリート充填柱（CFT）、梁を鉄骨造とした制震ダンパー付きラーメン構造としている。高層部の制震ダンパーは、1～5階は座屈拘束ブレースと摩擦壁ダンパーの併用、6～14階は摩擦壁ダンパーとしている。階高は各階3.9～4.5mで5階のみ5.3mとなっている。高さが60mを超えており時刻歴応答解析により設計を行っている。代表的な伏図、軸組図を図4～7に、使用材料及びダンパー設置概要を表1、2に示す。

再現部と高層部のクリアランス部分には、隣接する両構造物を水平方向に連結し、地震時に構造物間の振動を吸収するオイルダンパーを、2、3及び4階床レベルに4台ずつ設置している。各階のダンパーのストロークは、上階から±200、±150、±100mmとしている。再現部の屋上部分には、高層部の張り出部の荷重を負担し、地震時における再現部と高層部の挙動に追従でき、耐火被覆が可能で、設置スペースを小さく出来る支承が求められた。これらの条件を満足する支承として、600mmの角型の積層ゴム支承を採用している。引抜力が大きく作用する支承には、引抜き力を開放させるストッパーピンを設置している。構造上、再現部と高層部は独立した形となっている。

本構造方法により、建物の高さ、剛性及び強度が異なる二つの構造物を、建築的には一体となった形で合理的に設計することができる。

4 本構造システムの有効性検証

4.1 解析条件

本構造システムの有効性を検証するために表3に

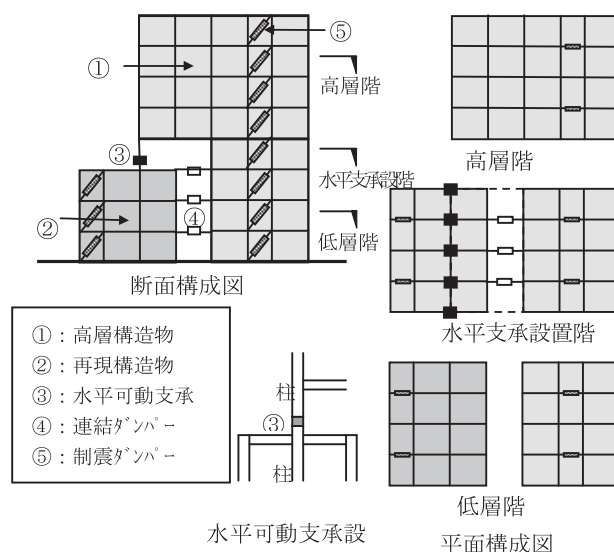


図2 構造システムの構成概念図

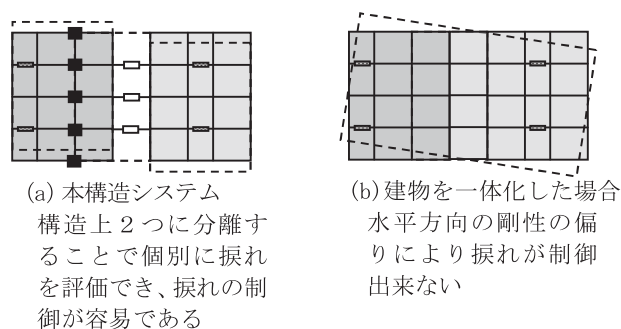


図3 平面的な振れの制御概念図

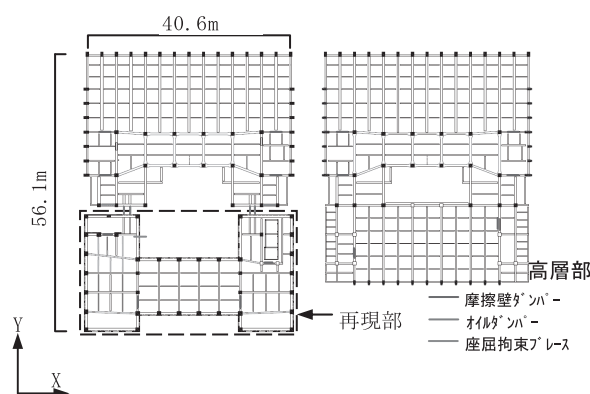


図4 3階伏図

図5 6階伏図

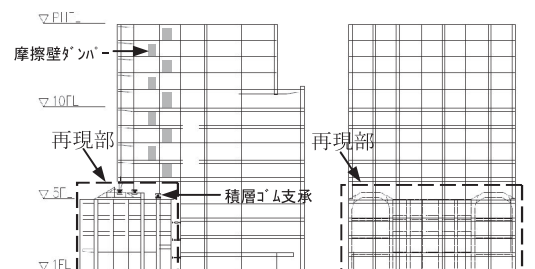


図6 Y方向軸組図

図7 X方向軸組図

表1 使用材料

階	コンクリート		鉄筋		鉄骨	
	柱	梁	柱	梁主筋	柱	梁
RF	-	Fc30	-	-	-	SN490B
11～14F	Fc30	Fc30	SD345	-	SN490B	SN490B
6～10F	Fc36	Fc36	SD345	-	SN490B	SN490B
1～5F	Fc36	Fc36(Fc30)	SD345	SD345	SN490B	SN490B

※()付きは再現部を示す。

表2 制震ダンパー概要

装置名	設置位置	設置台数
積層ゴム支承	再現部屋根	13
摩擦壁ダンパー	高層部1～2F	X方向各階 4
	高層部3～4F	X方向各階 4、Y方向各階 2
	高層部5F	X方向各階 4
	高層部6～10F	X方向各階 4、Y方向各階 2
	高層部11～14F	X方向各階 2、Y方向各階 2
オイルダンパー	再現部	X方向各階 2、Y方向各階 2
座屈拘束ブレース	棟間1～4F	Y方向各階 4
	高層部1～5F	X方向各階 2

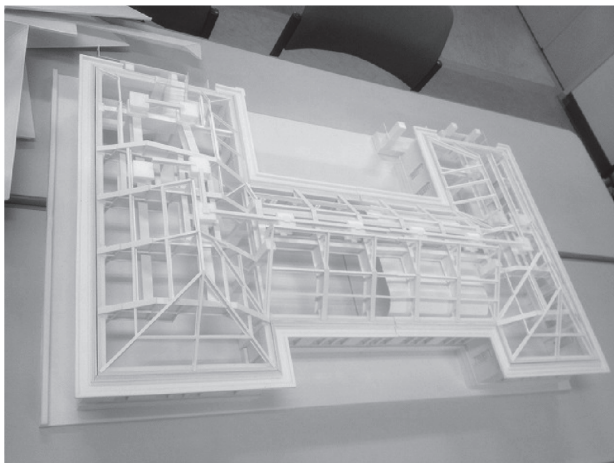


図8 再現棟屋根架構

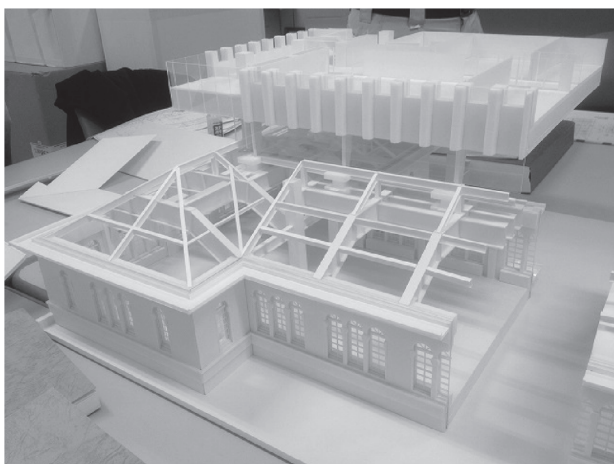


図9 再現棟と高層との取り合い

示す3モデルの時刻歴応答の比較を行っている。屋上の水平支承を取止めて剛結合としたW-Cモデルは、再現部と高層部を一体化したものとする。

各モデルの地震応答性状を確認するため、立体モデルによる検討を行った。入力地震動は、表4に示

表3 解析モデル一覧

モデル	W-A	W-B	W-C
水平支承 (積層ゴム支承)	有	無	無
連結ダンパー (オイルダンパー)	有	有	無
構造体の分離	有	有	無

すTaft EW、告示-kbとし、Taft EWは最大速度を50cm/secに基準化、告示-kbは告示1461号に示されるスペクトルに合致する模擬地震動とした。減衰は、減衰定数2.0%の瞬間剛性比例型としている。柱はファイバーモデル、梁は線材モデルとし、柱脚の支持条件は固定としている。各ダンパーのモデル化を表5に示す。

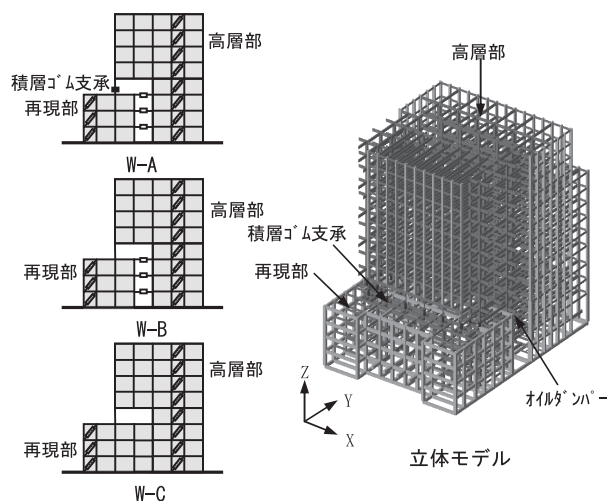


図10 比較検討モデルの概要

表4 入力地震動

地震波	継続時間	最大加速度	最大速度
		(m/s^2)	(m/s)
Taft EW	54.38	4.97	0.50
告示-kb	60.00	5.51	0.57

表5 ダンパー設置位置・モデル化

装置名	モデル化	備考
積層ゴム支承	弾性モデル	天然ゴム系積層ゴム支承 600角
摩擦壁ダンパー	Maxwellモデル	抵抗力2000kN及び1500kN
オイルダンパー	Maxwellモデル	最大減衰力1000kN及び1200kN
座屈拘束ブレース	バイリニアモデル	降伏軸力 3000kN

4.2 固有値解析結果

固有値解析により求められた1次固有周期を表6に示す。 θ は回転の固有周期を示す。再現部単独の1次固有周期はX方向で0.25秒、Y方向で0.22秒となる。

表6よりW-Aと比較してW-Bでは1割程度、W-Cでは2割程度周期が短くなる。高層部が剛性の高い再現部と一体化されることで水平剛性が大きくなることが確認できる。図11、図12にX方向1次のモード図を示す。

表6 1次固有周期

方向	固有周期(sec)		
	W-A	W-B	W-C
X	1.84	1.63	1.53
Y	1.95	1.62	1.53
θ	2.00	1.44	1.35

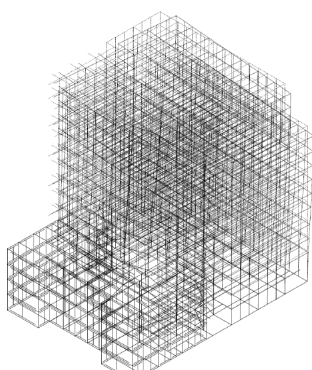


図11 W-Aモード図

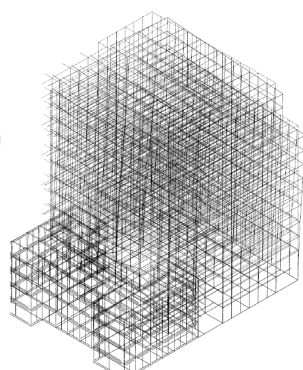


図12 W-Cモード図

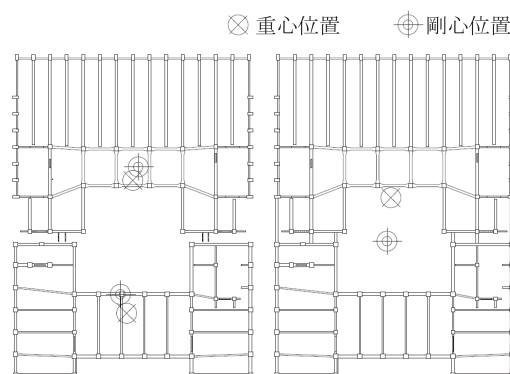
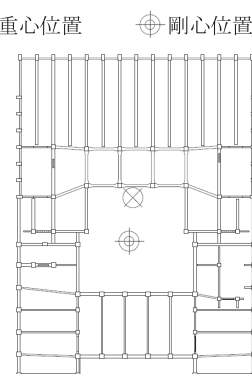
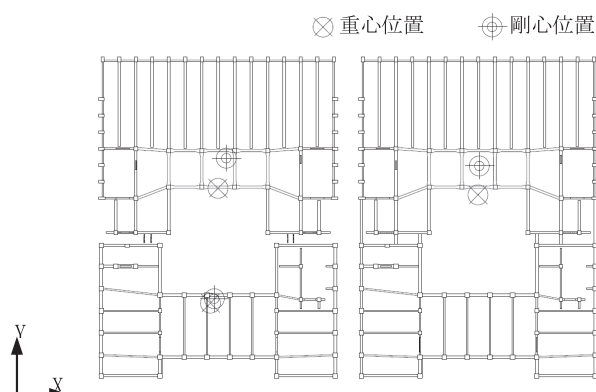
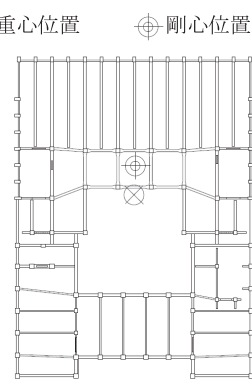
4.3 偏心率の検討

各層ごとに重心及び剛心を求め、偏心率を算出する。重心は鉛直部材の長期軸力より算出する。剛心は構造関係技術基準解説書による方法を用いる。偏心率を表7に、図13～16にW-A及びW-Cの2階・4階の剛心・重心位置を示す。

再現部と高層部を一体化したW-Cでは剛心が再現部側に大きく寄ることで1～4層で偏心率が大きくなる。W-Aにおいても偏心しているがこれは高層部の建物形状に起因するものである。

表7 偏心率

階	W-A 偏心率				W-C 偏心率	
	再現部		高層部		全体	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向
14	—	—	0.043	0.035	0.078	0.014
13	—	—	0.036	0.003	0.146	0.010
12	—	—	0.033	0.005	0.144	0.014
11	—	—	0.094	0.002	0.108	0.000
10	—	—	0.168	0.007	0.177	0.007
9	—	—	0.079	0.004	0.087	0.005
8	—	—	0.061	0.005	0.068	0.004
7	—	—	0.063	0.006	0.069	0.006
6	—	—	0.065	0.001	0.070	0.000
5	—	—	0.215	0.116	0.240	0.131
4	0.117	0.038	0.375	0.104	0.358	0.048
3	0.083	0.032	0.262	0.013	0.359	0.085
2	0.139	0.055	0.157	0.058	0.324	0.031
1	0.048	0.127	0.213	0.054	0.350	0.075

図13 剛心・重心位置
W-A (2F)図14 剛心・重心位置
W-C (2F)図15 剛心・重心位置
W-A (4F)図16 剛心・重心位置
W-A (4F)

4.4 振動解析結果

図18、19に第2層・4層の絶対変位軌跡を示す。絶対変位算出位置は図17のA、B位置とする。図20、21に各層の重心位置での最大応答せん断力を、図22、23に各層の重心位置での最大層間変位を示す。W-Cモデルにおいて再現部のみで負担するせん断力は全体の5～6.5割程度となりW-Aの分離された再現部と比較して大きなせん断力を負担している。図22ではW-Aの各層の最大層間変位はその他のモデルと比較して1～4割程度小さくなっている。図23ではW-Aの上層部の応答はその他のモデルより小さく、下層部では大きくなっているが、設計クライテリア1/100以下となっている。

構造方法の異なる3つのモデルの比較検討を行うことで提案する構造システムのある程度の有効性を示すことができた。

5 引抜き対応としてのストッパーピン

5.1 ストッパーピンについて

積層ゴム支承にストッパーピンを取り付けること

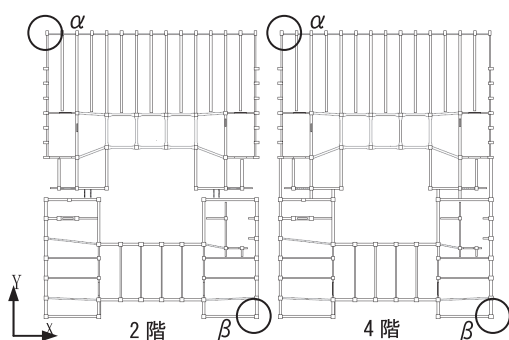


図17 絶対変位算出位置

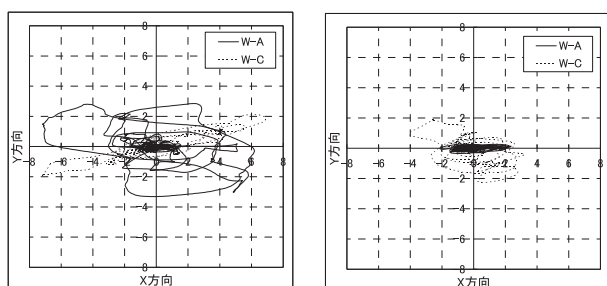


図18 絶対変位 (TAFT EW)

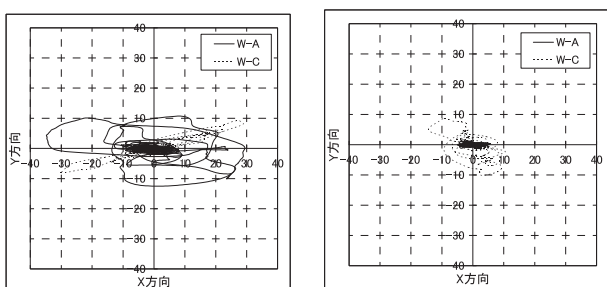


図19 絶対変位 (告示-kb)

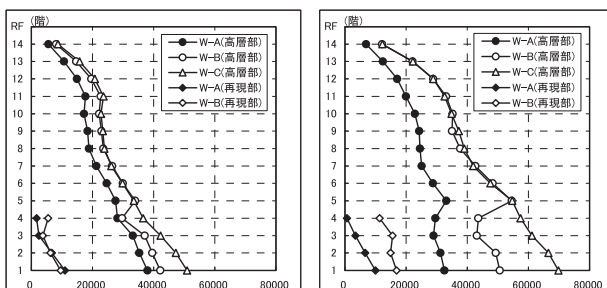


図20 最大応答せん断力 (Taft EW)

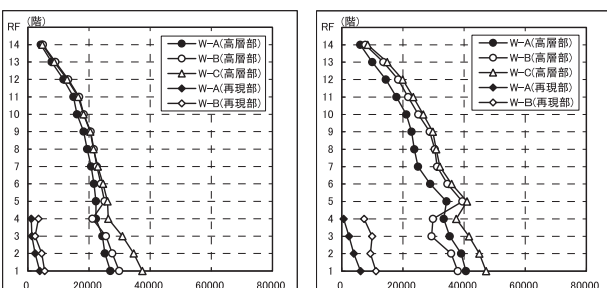


図21 最大応答せん断力 (告示-kb)

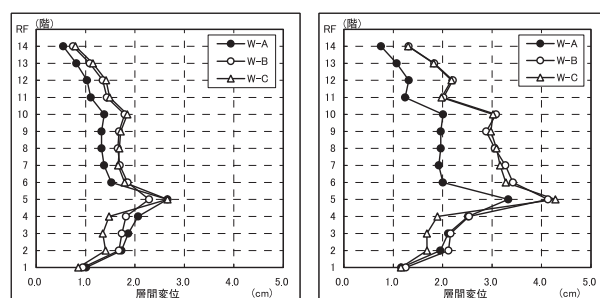


図22 最大層間変位 (Taft EW高層部)

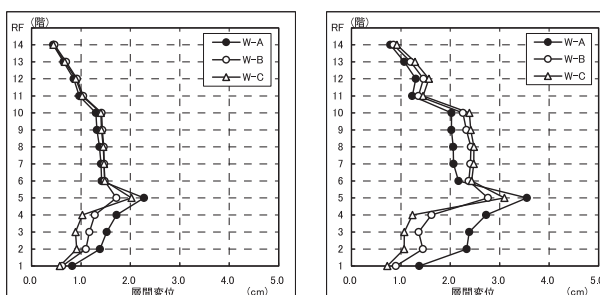


図23 最大層間変位 (告示-kb高層部)

で、地震時に作用する引抜き力に対して積層ゴム支承を浮き上がらせ、引抜き力を解放し、積層ゴム支承に過大な引張応力を発生させないことができる。水平方向に対しては、支承が浮き上がった状態でも固定された通常の支承と同等な性能を確保することができる。本建物では再現部屋根上部の13個の積層ゴム支承の8個に対して引張対応機構のストッパーピンを使用している。

5.2 機構概要

本建物で使用している積層ゴム支承の引張対応機構は、図24に示すように積層ゴム支承下部フランジプレートに固定方法をボルト固定からフランジプレートに取付けた軸受とストッパーピンを嵌め合わせたものとしている。積層ゴム支承に引張が発生した際にフランジプレートを浮き上がらせゴムに過大な引張応力が生じない構造とした。ストッパーピンは、積層ゴム支承に生じるせん断力を負担し、その頭部にはフランジプレートの抜け出しを防止し、積層ゴム下部フランジプレートの浮上り量を均一化させるため、ストッパーを設けたピンとした。ストッパーピンと接触している軸受の内面は、固体潤滑剤を付着させた鋼材で、水平力作用時にフランジプレートが浮き上がる際に生じる摩擦力を低減させ、動きを円滑にし、安定した復元力特性とする役割を

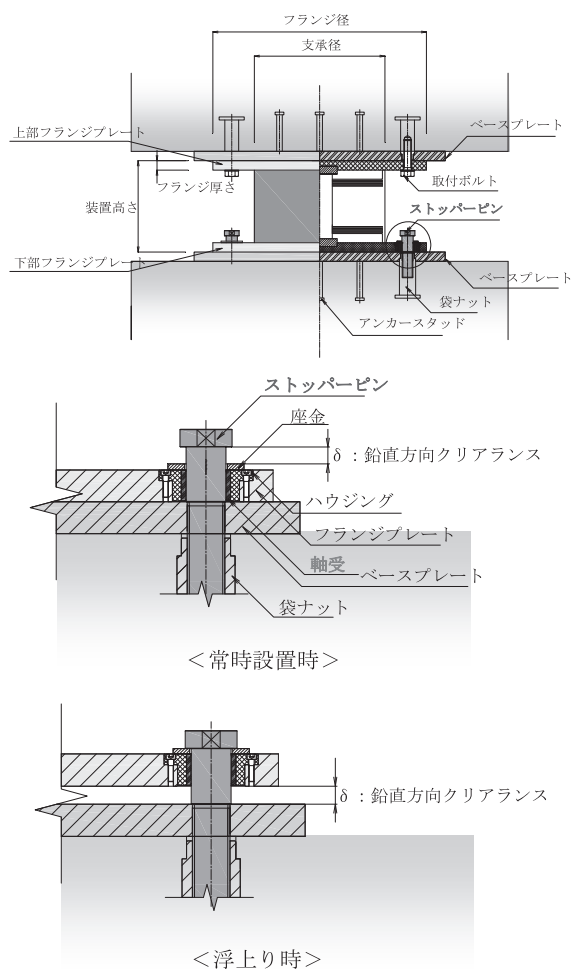


図24 ストッパーピン概要図

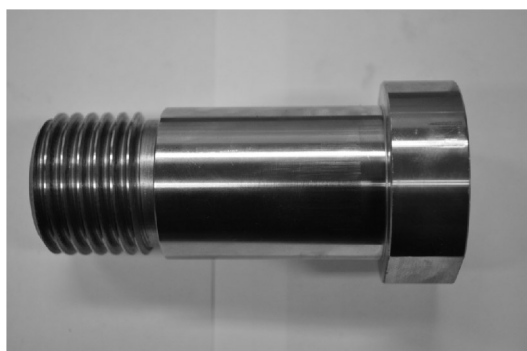


図25 ストッパーピン

担っている。本機構は、浮上り機構の単純化により、下部フランジプレートの径が過剰に大きくならない利点がある。

6 施工状況

工事全景、免震装置の設置及び免震装置上部への高層棟柱の設置状況の写真を図26～28示す。



図26 工事全景



図27 免震装置の設置



図28 高層棟柱の設置

7 まとめ

免震装置の新しい使用方法を提案した構造方法を提示し、それを実現した建物の紹介を行った。今後、免震装置の新たな使用方法が広がって行くと思われる。本建物は、2014年9月の竣工に向けて工事を進めている。多くの皆様からご指導頂いたことをこの場を借りてお礼申し上げます。