

箱根町本庁舎耐震化工事

三菱地所 加藤晋平

大成建設 小山実



1. はじめに

免震レトロフィットによる耐震改修も数多く行われており、その改修技術も徐々に確立しつつあります。一方、建物の敷地条件や建物形状は、建物それぞれで異なるため、免震レトロフィットによる耐震改修を行う場合、細部にわたっているいろいろなアイデアが駆使されています。

今回は、箱根登山鉄道「箱根湯本駅」の南東約200mに位置する箱根町本庁舎の耐震化工事を、株式会社松田平田・横浜事務所の中島浩さんと鹿島建設株式会社の大穂所長の案内で、須賀川委員長及び出版委員のメンバーが訪問しました。

2. 建物概要^{1) 2)}

計画建物は、1969年8月に建設された地上4階の鉄筋コンクリート造耐震壁付ラーメン構造の建物です。平面形状は長辺方向が約50m、短辺方向が20mの長方形で、分庁舎とは、エキスパンションで接続されています。

建設地は、箱根火山の東方に位置し、建物北側は早川に向かって下っており、南側は急な崖を背負った斜面地の中腹に立地しています。

写真1に建物全景を示します。また、図1に1階平面図及び断面図を、下記に建物概要を示します。



写真1 建物全景

所在地 : 神奈川県足柄下郡箱根町
 湯本字後山256番地

用途 : 庁舎

建物概要 : 敷地面積 6,348.2 m²
 建築面積 1,337.6 m²
 延べ床面積 3,528.9 m²
 階数 地上4階塔屋2階
 軒高さ 20.1 m
 最高部高さ 26.25m
 (施行令高さ 20.38m)

構造 鉄筋コンクリート造
 基礎 独立基礎(直接基礎)

発注者 : 箱根町
 設計・監理 : 株式会社 松田平田
 施工者 : 鹿島建設株式会社

1996年に行った耐震診断結果から耐震性の不足した建物であることが判明したため、免震構法による耐震化が計画されました。

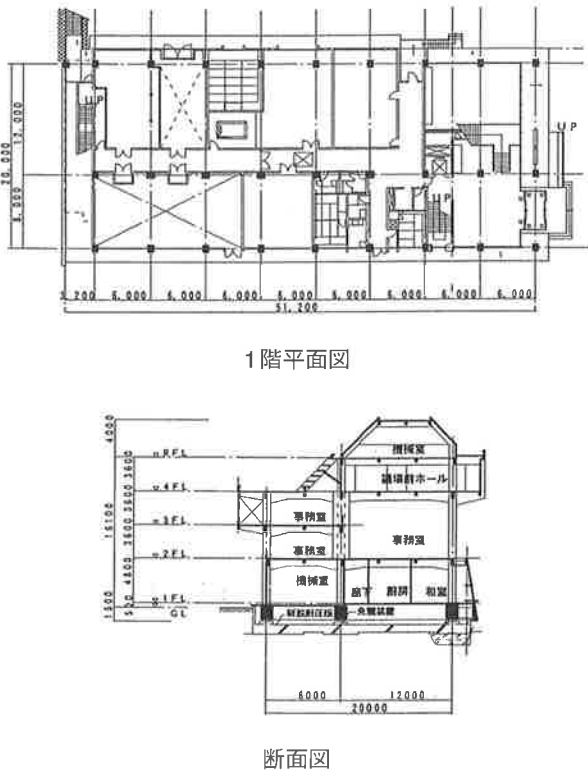


図1 1階平面図及び断面図

3.構造計画概要^{1) 2)}

表1に免震部材(免震装置)の仕様を示し、図2に免震部材の配置を示します。

鉄筋コンクリートの上部構造と基礎の間に免震部材を挿入した基礎免震形式を採用しており、免震部材としては、天然系積層ゴム支承RBを11基と鉛入り積層ゴムLRBを10基、さらに軽量建物を長周期化するのに有効な滑り支承ASを6基設置しています。

図3に滑り支承の概略図を示します。

滑り支承は、エラストマー(クロロプレンゴム製)、ベアリングホルダー(SS400)、ベアリング(充填剤入りPTFE)及びフッ素樹脂系固体皮膜潤滑剤でコーティングされたスライドプレート(SUS316)から構成されており、滑り摩擦係数 μ は0.09です。

免震部材の長期圧縮応力度は、積層ゴムで100kgf/cm²程度以下、滑り支承はエラストマー面圧で100kgf/cm²程度(ベアリング面圧で200kgf/cm²程度)以下になるように計画されています。

水平変形10cm時(積層ゴムのせん断歪50%)における等価1次固有周期は2.5秒程度で、降伏荷重は0.04W(W:建物重量)程度としています。また、等価減衰定数は水平変形20cm時で25%程度、上下方向の固有振動数は15Hz程度です。

表1 免震部材(免震装置)の仕様

免震装置	免震装置の種類	LRB-800	LRB-700	LRB-650	RB-750	RB-700	RB-650	
		X2	X5	X3	X7	X1	X3	
鉛入り積層ゴムLRB 10基	2次形状係数	4.0	3.5	3.3	3.8	3.5	3.3	
	形状・寸法	面圧(kg/cm ²)	81~93	63~84	50~57	73~91	80	55~67
		有効ゴム径(mm)	750	700	650	750	700	650
	積層ゴムRB 11基	ゴムの層	5mm×40	4mm×50	4mm×50	5mm×40	4mm×50	4mm×50
		内部鋼板(SPCC)	2.5mm×39	2.5mm×49	2.5mm×49	2.5mm×39	2.5mm×49	2.5mm×49
		鉛プラグ径(mm)	150	120	110	-	-	-
		装置高さ(mm)	395.2	398.5	390.5	385.2	398.5	390.5
	被覆ゴム	厚 10mm						
	フラジプレート(SS400)	36mm×2	31mm×2	27mm×2	31mm×2	31mm×2	27mm×2	
	鉛の物性値 JIS H 2105 特殊 純度 99.99%							
免震装置	免震装置の種類	AS-550	AS-400	AS-350	AS-300	AS-200		
		X1	X2	X1	X1	X1		
	形状・寸法	ゴムの層	11×837φ	9×714φ	9×668φ	8×619φ	7×505φ	
		ベアリングホルダー(SS400)	117×881φ	100×750φ	94×704φ	87×651φ	71×533φ	
		ベアリング	PTFE					
		ベアリング径(mm)	592	505	473	438	357	
		滑り板(SUS316)	4×1700	4×1520	4×1490	4×1450	4×1370	
		装置高さ(mm)	198	165	159	151	128	
	数量	32mm×2	25mm×2	25mm×2	25mm×2	22mm×2		
	ゴムの物性値	免震装置の種類	積層ゴム		すべり支承			
ゴム材料		天然ゴム		クロロプレンゴム				
せん断弾性率(kg/cm ²)		4.0±1.0		8.0±1.0				
引張強さ(kg/cm ²)		180以上		150以上				
伸び(%)		630以上		440以上				
25%伸長応力変化率(%)		-10~+30		-10~+100				
伸び変化率(%)		-25以上		-50以上				
伸縮永久重(%)		25以下		35以下				
耐オゾン性	亀裂なし		亀裂なし					

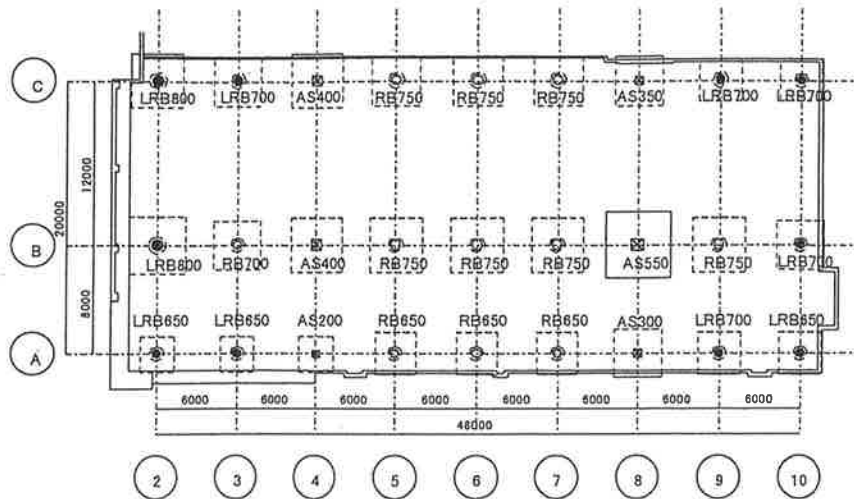


図2 免震部材の配置

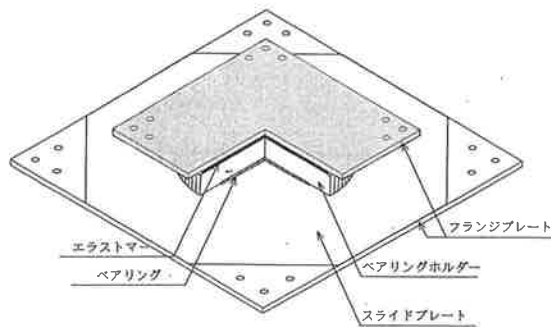


図3 滑り支承概略図

4. 構造設計概要²⁾

設定した耐震性能の目標を表2に示します。

地震応答解析では、免震層下部を固定とした5質点等価せん断型質点系モデルを用い、上部構造の復元力特性は、ひび割れによる剛性低下を考慮した原点指向型トリリニアにてモデル化しています。免震

層については、鉛入り積層ゴムを修正バイリニアモデル(歪依存性を考慮)でモデル化し、積層ゴムを線形モデル、滑り支承をノーマルバイリニアモデルでモデル化しています。

また、立体弾塑性モデルでも免震部材の健全性を検討しています。

表2 設計目標値

検討用の地震動の入力レベル	設計目標		
	上部構造	免震装置	基礎構造
レベル1	・短期許容応力度以下	・安定変形：25cm以下 (積層ゴム最大せん断歪：125%以下)	・短期許容応力度以下
レベル2	・弾性限耐力以下	・性能保証変形：35cm以下 (積層ゴム最大せん断歪：175%以下) ・引張力：生じない	・短期許容応力度以下
余裕度検討レベル	・終局耐力以下	・終局限界変形：45cm以下 (積層ゴム最大せん断歪：225%以下) ・引張力：生じない	・短期許容応力度以下

入力地震には、実地震動記録波形4波 (EL CENTRO1940NS,TAFT1952EW,HACHINOHE 1968NS 及びEW) と、模擬地震波形2波 (ARTHKN01、ARTHKN02) を用いています。記録波での各入力レベルは最大速度値より設定し、レベル1、レベル2でそれぞれ25cm/sec、50cm/secとし、余裕度検討レベルでは70cm/secとしています。模擬地震動 (最大速度50.2cm/sec及び70.7cm/sec) の入力レベルは、地震動の発生メカニズム・発生周期

等を考慮し、レベル2としています。

表3に上部構造の応答解析結果を示し、表4に免震部材の応答解析結果を示します。表中の結果は記録波形4波及び模擬地震波形2波における最大応答値を示しています。

免震部材のばらつき (製品誤差、温度差、経年変化等) を考慮しても、上部構造及び免震部材の応答値は設定した耐震性能目標を充分満足しています。

表3 上部構造の応答結果

		X方向 (長辺)		Y方向 (短辺)		耐震性能のクラス	
		標準状態	バラツキ考慮	標準状態	バラツキ考慮		
質点系モデル	最上層床位置の最大絶対加速度 (cm/sec ²)	レベル1	145 (HACHINOHE NS)	183 (TAFT EW)	117 (TAFT EW)	138 (TAFT EW)	-
		レベル2	283 (ARTHKN02)	388 (ARTHKN02)	179 (ARTHKN02)	229 (ARTHKN02)	-
		余裕度検討レベル	193 (TAFT EW)	244 (TAFT EW)	170 (EL CENTRO NS)	190 (TAFT EW)	-
	最下階最大せん断力係数	レベル1	0.091 (EL CENTRO NS)	0.114 (TAFT EW)	0.084 (TAFT EW)	0.097 (TAFT EW)	A
		レベル2	0.149 (ARTHKN02)	0.178 (ARTHKN02)	0.102 (ARTHKN02)	0.136 (ARTHKN02)	C
		余裕度検討レベル	0.139 (HACHINOHE EW)	0.174 (HACHINOHE EW)	0.116 (EL CENTRO NS)	0.142 (EL CENTRO NS)	B
	最大層間変形角	レベル1	1/1636 (HACHINOHE NS)	1/893 (TAFT EW)	1/3830 (TAFT EW)	1/2535 (TAFT EW)	-
		レベル2	1/563 (ARTHKN02)	1/502 (ARTHKN02)	1/1827 (ARTHKN02)	1/1081 (ARTHKN02)	-
		余裕度検討レベル	1/736 (TAFT EW)	1/609 (TAFT EW)	1/1714 (EL CENTRO NS)	1/1412 (EL CENTRO NS)	-

表4 免震部材の応答結果

		X方向 (長辺)		Y方向 (短辺)		耐震性能のクラス		
		標準状態	バラツキ考慮	標準状態	バラツキ考慮			
質点系モデル	最大相対変位 (cm)	レベル1	10.4 (HACHINOHE EW)	10.3 (EL CENTRO NS)	10.7 (HACHINOHE EW)	10.5 (EL CENTRO NS)	A	
		レベル2	19.1 (EL CENTRO NS)	22.2 (TAFT EW)	19.2 (EL CENTRO NS)	22.2 (TAFT EW)	A	
		余裕度検討レベル	32.8 (EL CENTRO NS)	34.6 (HACHINOHE NS)	32.9 (EL CENTRO NS)	34.7 (HACHINOHE NS)	B	
	最大せん断力係数	レベル1	0.060 (HACHINOHE EW)	0.072 (HACHINOHE EW)	0.061 (HACHINOHE EW)	0.071 (HACHINOHE EW)	-	
		レベル2	0.078 (EL CENTRO NS)	0.095 (HACHINOHE EW)	0.078 (EL CENTRO NS)	0.097 (HACHINOHE EW)	-	
		余裕度検討レベル	0.104 (EL CENTRO NS)	0.123 (HACHINOHE NS)	0.105 (EL CENTRO NS)	0.124 (HACHINOHE EW)	-	
	立体モデル	積層ゴムの最大応答面圧 (上下震度0.3を考慮)	レベル1	-		-		-
			レベル2	142kg/cm ²		-		-
			余裕度検討レベル	144kg/cm ²		-		-
引き抜き (上下震度0.3を考慮)		レベル1	-		-		-	
		レベル2	引き抜きは生じていない		-		-	
		余裕度検討レベル	引き抜きは生じていない		-		-	

5. 施工計画³⁾

免震層の施工手順を図5及び下記に示します。

- STEP1：1階の土間及び梁のフカシ部を解体し、土間下を掘削します。
- STEP2：既存フーチング部以外の部分に耐圧盤を打設します。
- STEP3：既存梁の補強及び1階スラブの打設を行うとともに、施工中の耐震安全性を確保するためのSRC間柱を設けます。
- STEP4：補強された既存梁を利用し、ジャッキにて建物を仮受けします。

- STEP5：既存フーチングを解体、掘削を行います。
- STEP6：既存フーチング下の耐圧盤を打設します。
STEP 2で打設した耐圧盤とは、機械式継手にて一体化します。
- STEP7：柱下に免震部材を設置します。
- STEP8：施工中の耐震性を確保していたSRC間柱を切断した後、ジャッキダウンしてサポートを撤去します。
- STEP9：免震化が完了します。

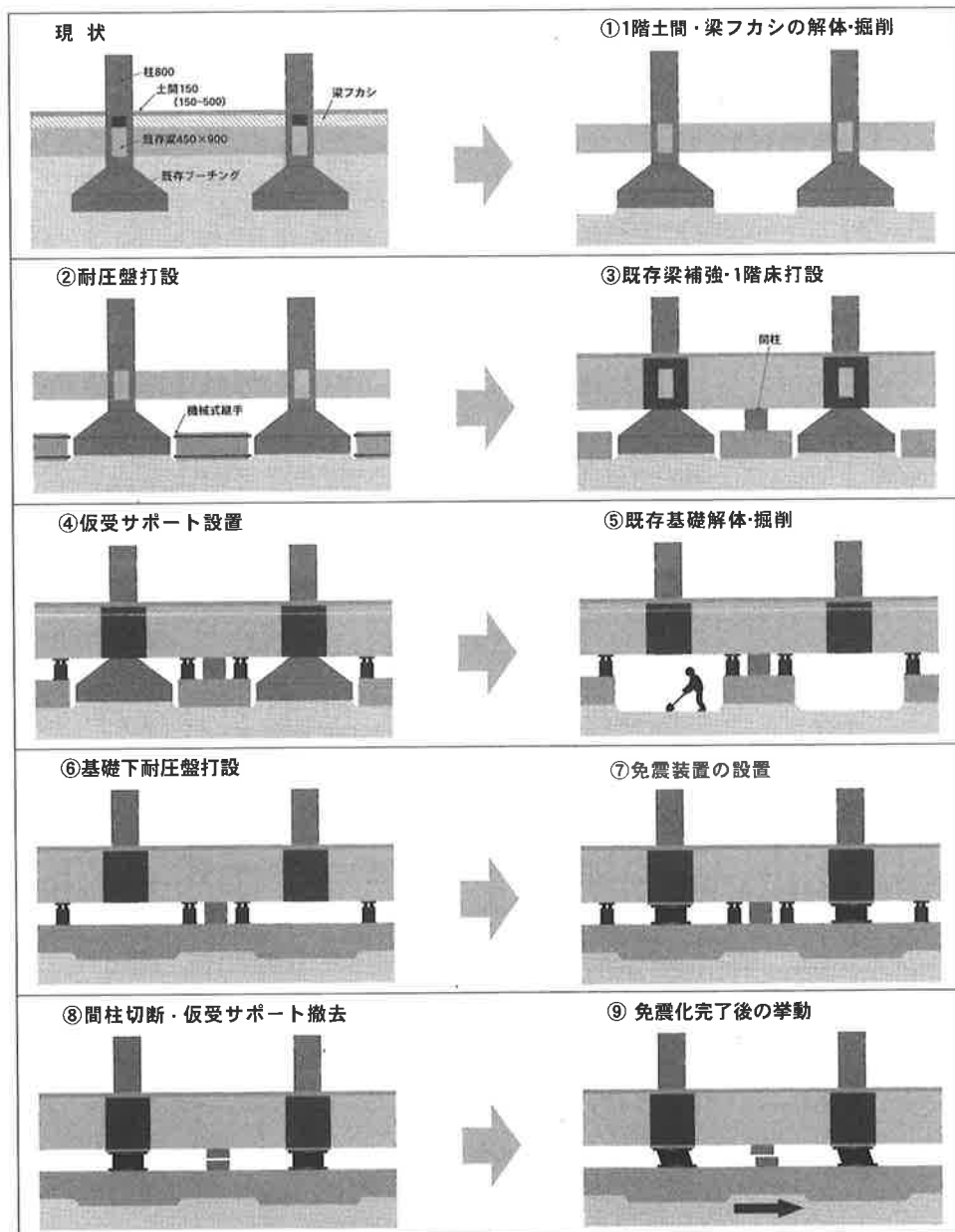


図5 施工手順

6. 見学記

会議室にて説明を受けた後、竣工間際の現場を拝見させて頂きましたので、写真を用いてその様子を記述します。

写真2及び写真3に設置されました積層ゴム支承及び滑り支承を示します。免震部材は耐圧盤の上に直接置かれており、部材を設置するための下部杓はありません。写真4は施工中の耐震性を確保するために設けられた間柱で、免震化が完成しているため、コア抜き機械にて切断されています。この間柱には、せん断耐力を確保するための鉄板が内蔵されており、施工性を考慮して、ワイヤーソーではなくコア抜き機械にて切断したそうです。写真5は1階部分のRC壁の様子です。既存建物が土間スラブであり、土間スラブ解体に伴い、既存壁も一部解体する必要があり、新たにRC壁を構築しています。写真は既存壁と新設壁の境界部分で、既存壁はウォールソーで切断したそうです。写真6は建物正面の石積みの部分で、石積みの下のはねだしスラブ下面に、免震層のスリットがあります。写真7は建物背面の擁壁部の写真です。既存建物が、一部斜面に接していたため、免震化に伴い擁壁を新たに構築しています。

写真8は隣接する分庁舎との境界部分を示しています。免震層の変形に対応できるよう、分庁舎屋根の底部分を一部切り欠いています。



写真3 滑り支承

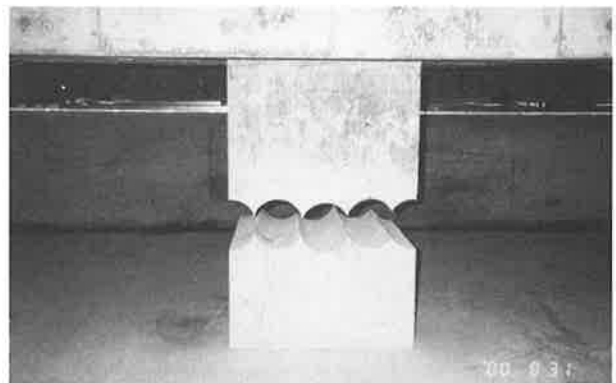


写真4 SRC間柱

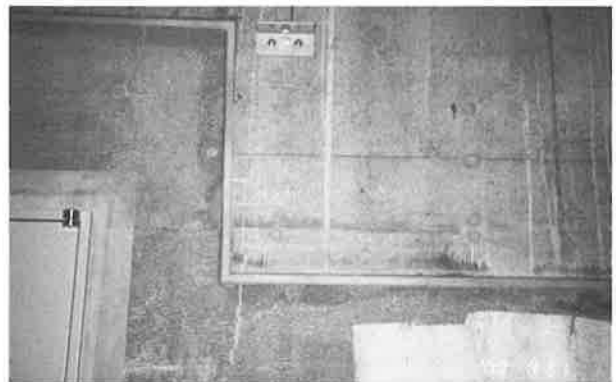


写真5 1階部分の壁



写真2 積層ゴム支承



写真6 建物正面の石積み



写真7 建物背面の擁壁部



写真 8 隣接する分庁舎との境界部分

7. 訪問談義

現場見学の後、会議室での質疑の内容の一部を下記に示します。

Q：免震構法の採用の理由は

A：建替えは、引越し費用も含めると免震化より高くなること、及び普通の耐震補強では建物の機能が確保できなくなると聞いています。

Q：施工上苦勞されたことは

A：土間下の掘削は機械が入らず、手堀にて行いました。また、音の出るハンマードリル等のアンカー作業は閉庁日に行い、平日は、ウォールソー、コアドリリング、バスター等の低騒音・低振動工法を多用しました。

Q：施工中の建物鉛直変形を測定されていますが、ジャッキダウンによる変形はどのくらいでしたか

A：1～1.5mmと小さな値でした。

8. おわりに

箱根庁舎の元設計者（「カトー設計事務所」：計算書に記載）は、この建物における「空間の基本計画と構造計画」について次のように述べているそうです。「本建物の基本計画は敷地が山地の北側に面したところにあることから、建物の南側屋根面にはライトゾーンを設け、北側の天空光と南側の太陽光をカクテルした光の造形を意図したものである。又、建物の配置にあたっては敷地の造成計画との関係において、盛土部分をさけて、なるべく山頂近くの切土部分に建物を配置した。このようなことから、構造体は吹抜けのある異形ラーメンを採用している。」

今回免震構法を採用することにより、元設計者の建物に対するこんな思いを損なうことなく、建物の耐震化ができたのではないだろうかと感じました。

最後になりましたが、御忙しいところ、貴重なお話を聞かせて下さいました松田平田の中島さん、施工を担当されました鹿島の大穂所長ならびに関係者の方々に厚く御礼申し上げます。



写真 中島氏（中央）と訪問メンバー

参考文献

- 1) 「本庁舎耐震化工事」
ビルディングレター 1999年12月
- 2) 免震構造評定委員会
「本庁舎免震化工事 構造設計説明書抜粋資料」
株式会社 松田平田
- 3) パンフレット「箱根町本庁舎耐震化工事」
鹿島建設株式会社