

東北大学復興建物計画



内山 晴夫
久米設計



井上 啓
同



田中 浩一
梓設計



宮本 裕也
同



大沢 和雅
日本設計



今富 陽子
同

1 はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震および、それに続く余震は、東日本大震災として東北地方から関東地方にかけて大きな災害をもたらしました。仙台市中心部からやや西に位置する東北大学青葉山キャンパスにおいても、多くの建物が被災しました。

その中でも、電子・応用物理系建物、マテリアル・開発系建物、および人間・環境系建物は被災の程度が大きく、継続使用が不可であると判定されたため、これら3系の建物は使用禁止となり、現在はプレハブ仮設建物に研究室を移している状況である。

東北大学では世界最先端の研究が行われており、世界的な開発競争の中で研究が止まることは大きな損失となる。また、建物内には非常に精密かつ高価な実験機器等を有している。

このため、キャンパス復興計画の第一弾として、建替えが行われる際、大地震後に速やかに研究の継続が出来ることを目的として免震構造を採用し、電

子・応用物理系建物は梓設計、マテリアル・開発系建物は久米設計、人間・環境系建物は日本設計がそれぞれ担当することとなった。また、以前より進められていた東北大学青葉山キャンパスの再整備の計画にも組み込まれる形で計画されている。

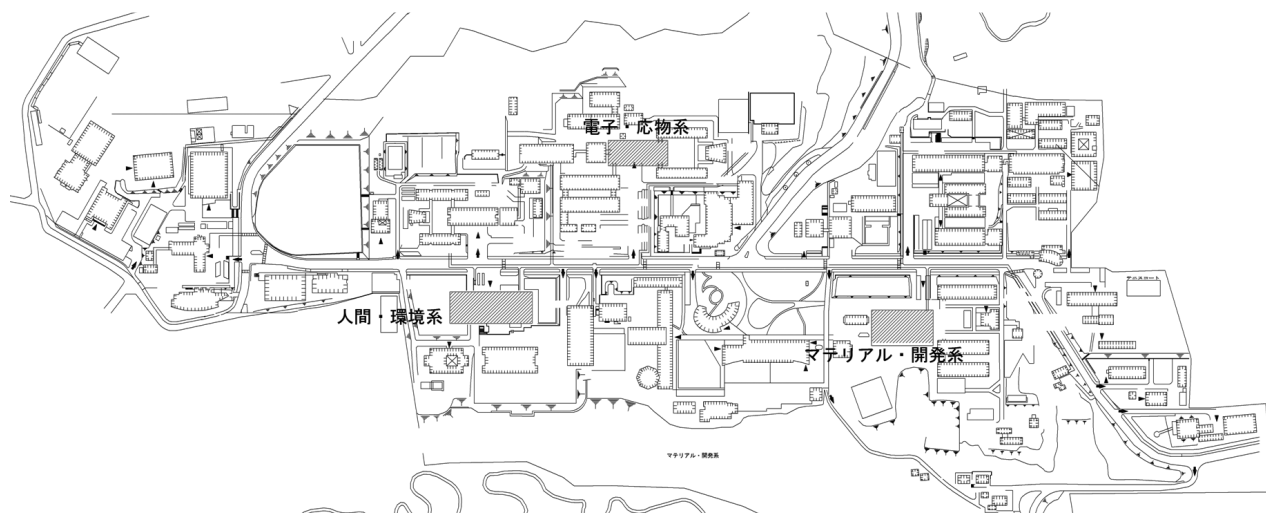
2 設計条件

同一キャンパス内の3建物同時の計画であり、基本的な設計条件を共通化している。

＜設計用地震動＞

既存3波、告示3波に加えて、プレート境界型の巨大地震として東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）による人間・環境系建物における観測波、および直下型の断層地震として長町－利府断層を震源とする（Mw6.9）の地震を想定した模擬地震動をサイト波として採用している。

東北大学工学部キャンパスは青葉山の山頂部であ



東北大学青葉山キャンパス建物配置図

る標高150m付近に位置し、標高120m付近の工学的基盤における地震動を共通とし、表層地盤の地震波の増幅はそれぞれの建物直下の地盤に応じて検討した。

＜設計クライテリア＞

設計クライテリアは、告示による稀に発生する地震動、および極めて稀に発生する地震動に加えて、極めて稀に発生する地震動の1.25倍の地震動に対するクライテリアを設定した。クライテリアは3系で概ね揃えているが、各建物の特性に合わせて個別の設定を行っている。

＜基礎計画＞

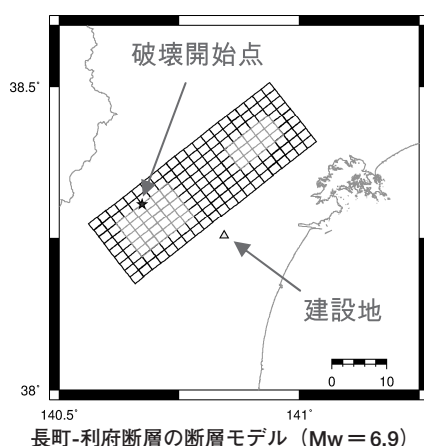
基礎は、工学的基盤に相当する標高120m付近に分布する凝灰質の岩を支持層とする杭基礎とした。

＜維持・監理方針＞

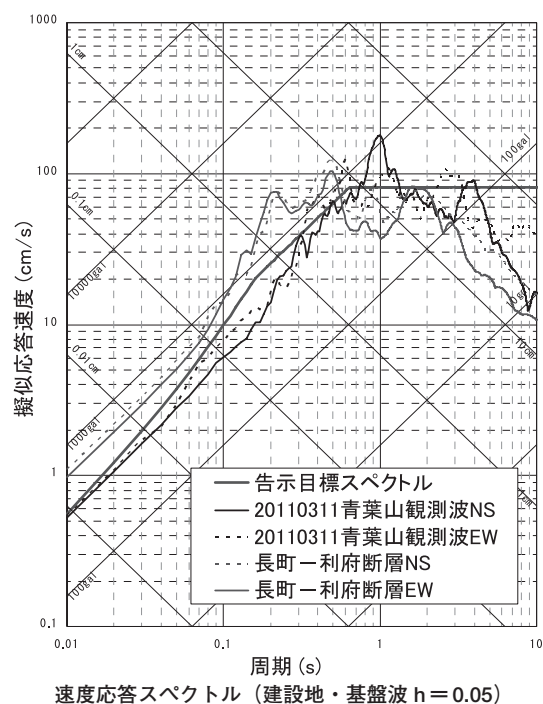
東北大学青葉山キャンパス内には約400棟に及ぶ建物が有るが、建築学科の実験用である免震構造実証建物を除くと初の免震建物であり、かつこれからも免震建物が建てられていくことが考えられるため、統一した維持・管理計画が求められた。

耐震性能目標（例：マテリアル棟）

入力地震動	性能目標		
	上部構造	免震材料	免震下部構造
稀に発生する地震動 (Level1)	応力度 $\leq$ 短期許容応力度 PC部材が破壊されない	変形 $\gamma \leq 125\%$ 他はLevel2に準じる	応力度 $\leq$ 短期許容応力度
極めて稀に発生する地震動 (Level2)	層間変形角 $\leq$ 1/300 居室階の応答加速度 $\leq$ 300gal	変形 $\gamma \leq 250\%$ CLB・ODの限界ストローク以内 層間速度 1.5 m/s以内 RB・LRBの面圧が基準面圧の2.0倍以内 RB・LRBの引抜側面圧が1N/mm ² 以内 CLBの鉛直荷重が短期許容荷重以内(圧縮側・引張側共)	
重要度係数1.25を考慮した極めて稀に発生する地震動 (Level3)		$\gamma \leq 300\%$ 他はLevel2に準じる	応力度 $\leq$ 弾性限耐力



長町-利府断層の断層モデル (Mw=6.9)



速度応答スペクトル（建設地・基盤波 h=0.05）

3 マテリアル・開発系実験研究棟

マテリアル・開発系実験研究棟は、主に金属・材料などの最先端の研究が行われている。旧実験研究棟は1966年竣工の地上6階、延べ床面積約7200m²の建物であった。東北地方太平洋沖地震においては主要構造部に多くのせん断破壊が発生したため、建て替えを行うこととなった。

＜建物概要＞

建設地：仙台市青葉区荒巻字青葉6-6

建築主：国立大学法人 東北大学

建築・構造設計：(株) 久米設計

：国立大学法人 東北大学

設備設計：(株) テクノ工営

：国立大学法人 東北大学

主用途：実験・研究施設

建築面積：2139.49m²

延べ床面積：7955.38m²

階数：地上5F

軒高：21.222m

基準階階高：4.0m

＜建築計画概要＞

建物は5階建てで東西方向に約65m、南北方向に約32mの長方形の建物となっている。階による建物の構成は2F以下のパブリックなスペースと3F以上の研究室・実験室が入るスペースとに分割されている。

2F以下では建物中央部南北方向にエントランスの

吹抜けを有し、建物中央部東西方向の吹き抜けと合わせて十字型に吹抜けを有した構造となっている。

3F以上は建物南側に各教員の研究室、建物北側に実験室および学生の研究室を配置し、中間の東西方向に吹抜けを配している。吹抜けにはランダムに床が配置され、変化に富む空間としている。



外観パース



内観断面パース

<構造計画概要>

構造種別 鉄筋コンクリート造、

一部SRC造、PC造

構造形式 X方向：純ラーメン構造

Y方向：耐震壁付ラーメン構造

基礎工法：支持杭（鋼管杭）

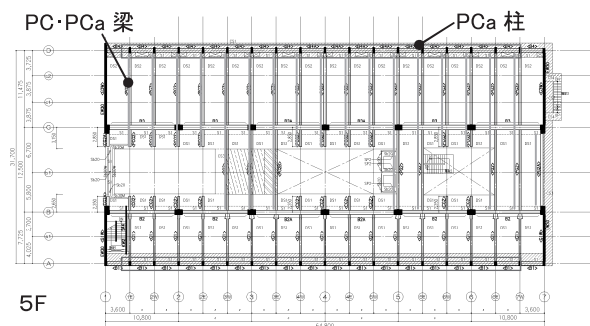
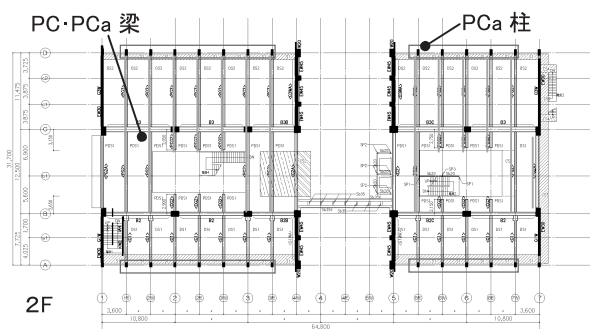
免震の形式：1F床下を免震層とする基礎免震

最大スパン：14.4m

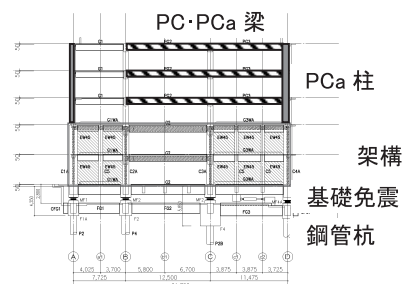
上部構造はX方向は純ラーメン構造となっている。スパンは両サイドで3.6m、中央の2構面は3.6m×3の10.8mを基本としている。中央エントランス部は14.4mの変則スパンで上部は陸立ち柱を受けている。このため3Fエントランス部はSRC構造としている。また、3.6mピッチとなる東西面の柱

はPCaとしてシャープなファサードを実現し、扁平な柱梁による格子状の架構は基本的に鉛直荷重を負担し、中央2構面が地震力の大部分を負担している。

Y方向は7.7m、12.5m、11.5mの3スパンの構成となっており、12.5m、11.5mのスパンは現場緊張のPC・PCa梁としている。両妻面および、1F～2Fは中央エントランス部2構面にさらに耐震壁を配置し、地震力のほとんどを耐震壁に負担させている。



架構平面図



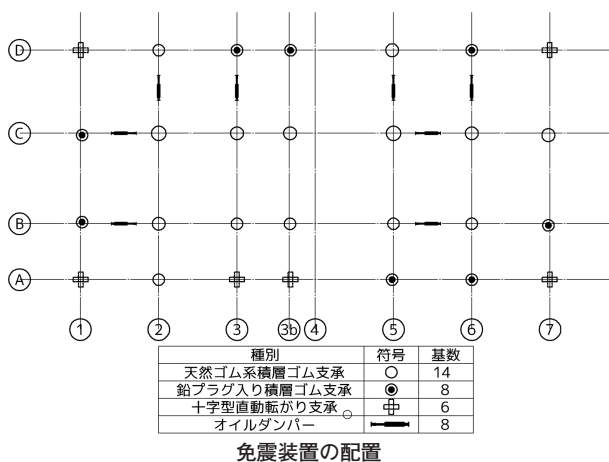
架構立面図

<免震層の概要>

免震層の概要は以下の通りとなっている。

天然ゴム系積層ゴム ϕ 800-100014基
鉛プラグ入り積層ゴム ϕ 8008基
十字型直動転がり支承6基
オイルダンパー（1000kN）X,Y方向各4基
免震層のクリアランス650mm

固有周期は $\gamma = 250\%$ 時に4.4秒と十分に長い周期を確保している。また、減衰力はオイルダンパー



が7割程度、鉛プラグ入り積層ゴムが3割程度とオイルダンパーの割合が大きく、免震層の長周期化と上部構造の応答加速度低減に寄与している。

＜時刻歴応答解析結果＞

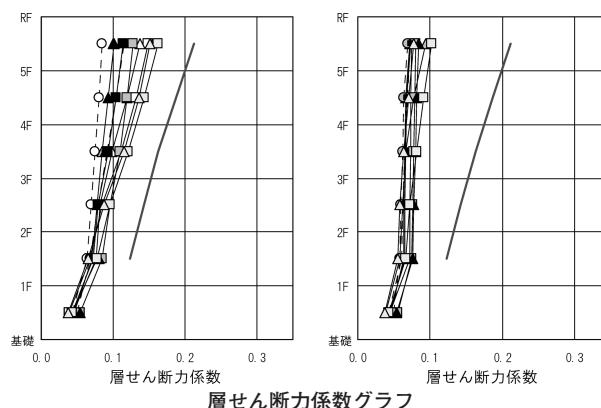
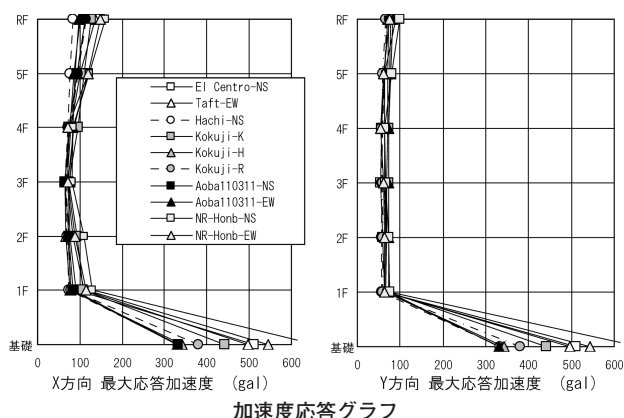
時刻歴応答解析は、上部架構を1次元質点モデルとし、免震層は各免震材料をモデル化している。

極めて稀に発生する地震動時にも、設計クライテリアに対して十分な性能を発揮しているといえる。

また、本建物は短辺方向に妻壁を有しているため、建物4隅部で引抜き力の発生が課題になると考えられた。しかし、耐震要素が「」状の形状となっていること、および低層部で中央部に2構面の耐震壁を有することにより、変動軸力を分散して、免震装置の引抜きを防いでいる。

応答結果（極めて稀に発生する地震動時:標準状態）

	X方向	Y方向	設計クライテリア
居室階応答加速度 (cm/s ²)	129.5	79.8	300 cm/s ²
層間変形角	1/768	1/7013	1/300
層間変位 (cm)	0.56	0.06	
1F 層せん断力係数	0.084	0.076	0.120 (設計用)
免震層層せん断力係数	0.055	0.055	
免震層変位 (cm)	25.2	26.3	39.0 cm (γ=250%)
免震層速度 (cm/s)	64.1	65.0	150.0 cm/s



3 電子・応物系実験研究棟

電子・応用物理実験研究棟は、主に電気・電子工学・通信などの最先端の研究が行われている。旧実験研究棟は1966年竣工の地上8階、延べ床面積約9200m²の建物であった。東北地方太平洋沖地震においては主要構造部に重大な損傷を受けたため、建て替えを行うこととなった。

＜建物概要＞

建設地：仙台市荒巻字青葉
 建築主：国立大学法人 東北大学
 建築・構造設計：(株) 梓設計
 ：国立大学法人東北大学
 設備設計：(株) 総合設備計画
 ：国立大学法人東北大学
 主用途：実験・研究施設
 建築面積：2118.34m²
 延べ床面積：10365.73m²
 階数：地上6階 塔屋1階
 軒高：25.727m
 基準階階高：4.1m

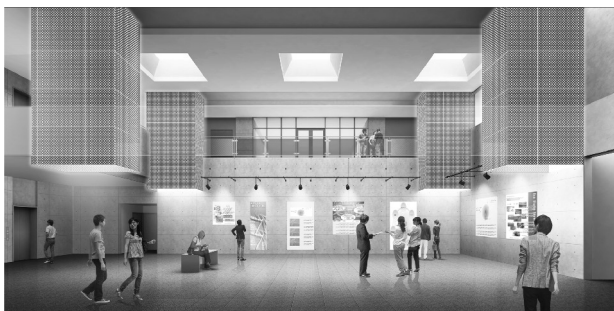
＜建築計画概要＞

全体をシンプルな矩形の複廊下型の平面形として、将来的な改編を容易にする計画としている。1,2階を共通実験室、講義室及び、会議室、事務室機能とし、3～6階に各研究室及び実験室の機能を配置する計画としている。建物中央部に3階から6階にわたり光庭をもうけ、採光および通風の効果を高め環境の向上、省エネルギー化を図っている。さらに配管カバーと日射抑制を兼ねた有孔折板の縦ルーバーを設け、外観上のアクセントとしている。

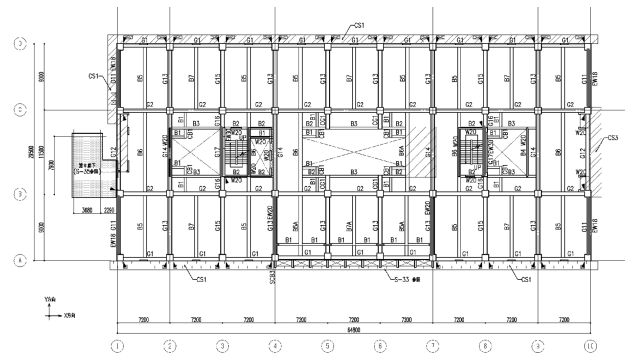
既存の情報工学科実験研究棟と本棟を一体利用するため、4層の渡り廊下を計画した。



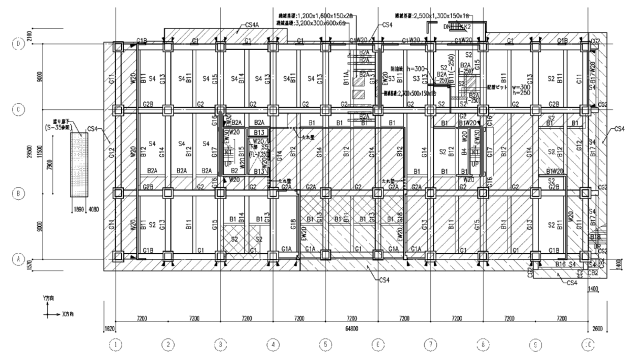
外観パース



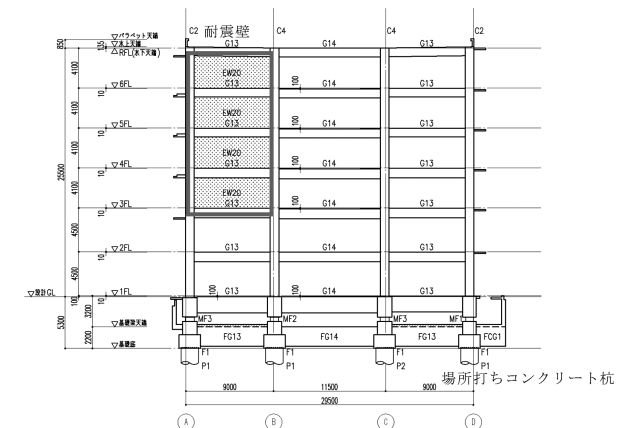
内観パース



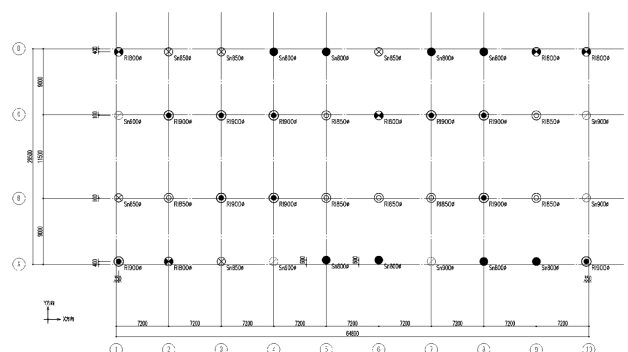
基準階架構平面図



1F階架構平面図



7通り架構立面図



免震材料	記号	符号	サイズ	基 数
天然ゴム系 積層ゴム支承材	●	Ri800	φ800	5
	◎	Ri850	φ850	7
	⊙	Ri900	φ900	10
鉛プラグ挿入 積層ゴム支承材	●	Sn800	φ800	8
	⊗	Sn850	φ850	5
	⊘	Sn900	φ900	5

計 40 基

免震装置配置

＜構造計画概要＞

構造種別 鉄筋コンクリート造

構造形式 X方向：ラーメン構造

Y方向：耐震壁付きラーメン構造

基礎工法：支持杭（場所打ちコンクリート杭）

免震の形式：1F床下を免震層とする基礎免震

最大スパン：11.5m

構成スパンは、長辺方向が7.2m、短辺方向が9.0～11.5m、階高は4.2～4.5mである。

構造種別は鉄筋コンクリート造、架構形式は長辺方向は純ラーメン架構形式、短辺方向は耐震壁付ラーメン架構形式である。

免震計画をシンプルに行うため、ロングスパンとなり剛性が低くなると予想される短辺方向の外壁と階段壁を有効に利用して耐震壁を配置する計画とした。

1Fでは、外壁側をピロティとし、耐震壁を抜くことにより、免震装置に発生する引拔を極力小さくした。

西側に既存棟と本棟を接続する渡り廊下を有するが、EXP.Jを配置し、構造的に分離する計画とした。

＜免震層の概要＞

免震層の概要は以下の通りとなっている。

天然ゴム系積層ゴム支承φ800～φ900 ……22基
 錫プラグ入り積層ゴム支承φ800～φ900 ……18基
 免震層のクリアランス ……600mm

免震装置は、天然ゴム系積層ゴム及び錫プラグ入り積層ゴムで構成するシンプルな計画としている。固有周期は $\gamma = 250\%$ 時に3.65秒となっている。

<時刻歴応答解析結果>

時刻歴応答解析は、上部架構は1次元質点系等価せん断モデルとし、免震装置は各免震材料をモデル化している。極めて稀に発生する地震動時の設計クライテリアに対して、十分な免震効果を得られている結果となっている。

斜方向地震動時に4隅の柱に引拔が発生するため、浮き上り対策支承を用いて対処している。

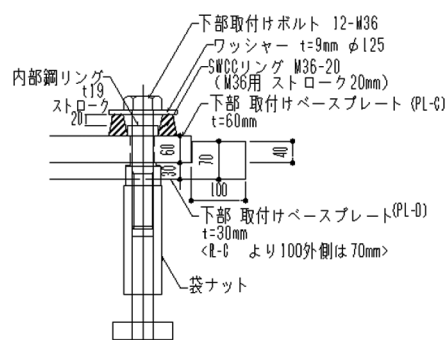


図10-10 浮き上り対策支承アンカーボルト詳細図

応答結果（極めて稀に発生する地震動：標準状態）

	X方向	Y方向	設計クライテリア
居室階応答加速度(cm/s^2)	247.3	224.9	250 cm/s^2
層間変形角	1/587	1/2085	1/200
層間変位(cm)	0.31	0.08	
1F 層せん断力係数	0.095	0.099	0.14(設計用)
免震層層せん断力係数	0.082	0.082	0.14(設計用)
免震層変位	28.03	28.04	50cm($\gamma=250\%$)

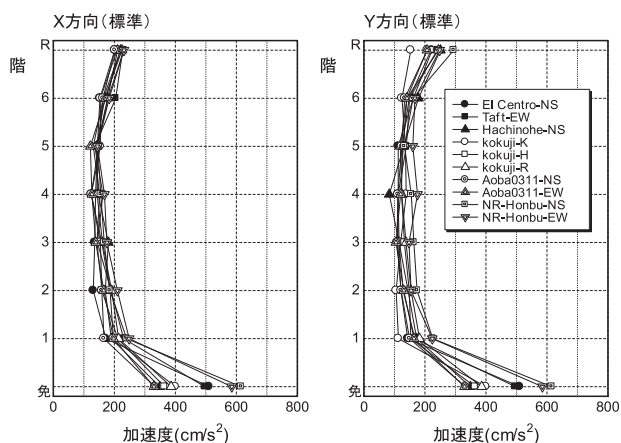


図10-11 応答加速度グラフ

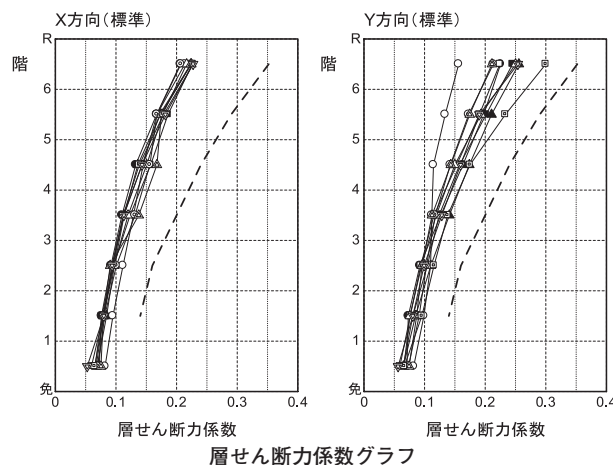


図10-12 層せん断力係数グラフ

5 人間・環境系実験研究棟

人間・環境系実験研究棟は、主に土木・建築工学などの最先端の研究が行われている。旧実験研究棟は1969年竣工（2000年耐震改修）の地上9階、延べ床面積約7300 m^2 の建物であった。東北地方太平洋沖地震においては主要構造部に重大な損傷を受けたため、建て替えを行うこととなった。

<建物概要>

建設地：仙台市青葉区荒巻字青葉6-6

建築主：国立大学法人 東北大学

建築・構造設計：(株) 日本設計

：国立大学法人 東北大学

設備設計：(株) T・S・G

：国立大学法人 東北大学

主用途：大学

建築面積：2552.73 m^2

延べ床面積：7586.58 m^2

階数：地上5階/地下0階/塔屋1階

軒高：19.50m

基準階階高：3.80m

<建築計画概要>

建物は5階建てで1階が東西方向に80m、南北方向に33.5mの長方形で2階以上はS字型の平面形状となっている。建物の構成は1階が事務室、講義室、2階が製図室、演習室で3～5階が研究室である。滞在時間の長い研究室をS字状に配置することで採光、通風、眺望に配慮した計画としている。

室内空間のフレキシビリティを確保するため、構造体はアウトフレームとしている。2～5階はS字の平面形状を連続したV字柱（トラス柱）により支える一体的な構造計画とし、特徴的な立面を構成している。



外観パース

＜構造計画概要＞

構造種別 鉄骨鉄筋コンクリート造

一部鉄骨造、鉄筋コンクリート造

構造形式 X方向：トラス柱付きラーメン構造

Y方向：トラス柱付きラーメン構造

基礎工法：場所打ちコンクリート杭

免震の形式：1F床下を免震層とする基礎免震

最大スパン：13.4m

1階は、X方向8m、12m、Y方向6.7m、13.4mを基本スパンとする純ラーメン架構である。2階以上の架構は、2階床が下弦、R階床が上弦となる大きなトラス架構となっており、1階柱頭からV字に2本の柱（トラス柱）を構成する。3～5階の外周梁は、トラス柱より内側にオフセットしており、トラス柱が強調される外観を形成している。

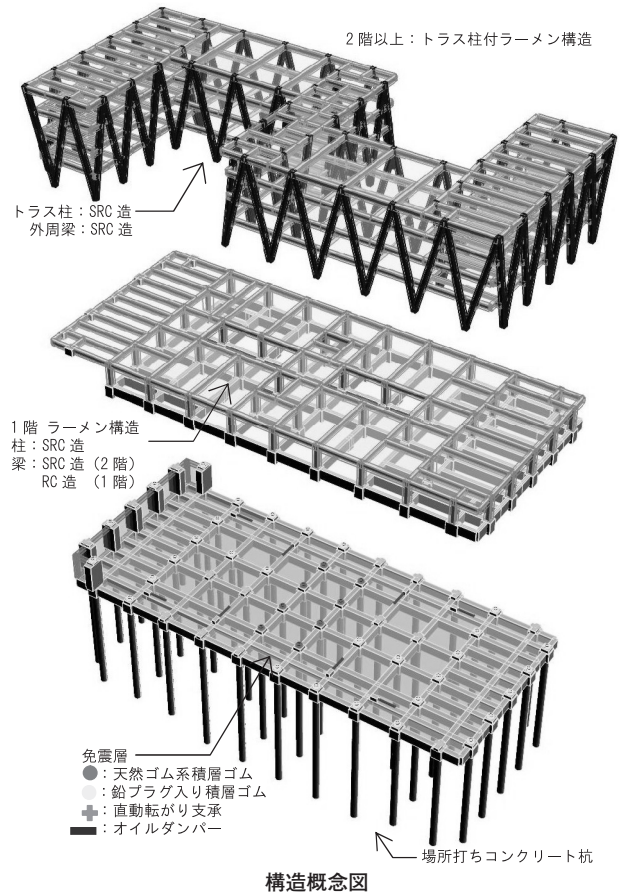
トラス柱には大梁のオフセットと柱の傾斜により捩れ応力が作用するため、コンクリート躯体部には主に捩れ応力への抵抗を期待して、軸力・曲げ応力等は鉄骨断面にて抵抗できるように部材設計を行っている。3～5階床を支持する梁は鉄骨小梁として外周SRC梁とはピン接合としている。

＜免震層の概要＞

免震層の概要は以下の通りとなっている。

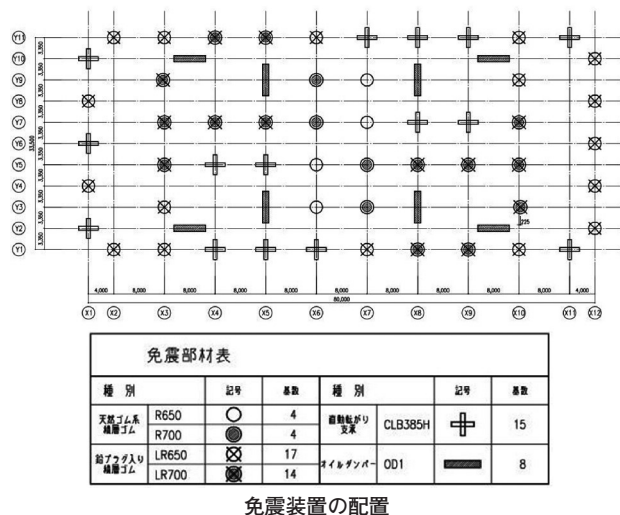
天然ゴム系積層ゴム ϕ 650,7008基
鉛プラグ入り積層ゴム ϕ 650,70031基
十字型直動転がり支承15基
オイルダンパー（1000kN）X,Y方向各4基
免震層のクリアランス500mm

本建物は柱軸力が比較的小さいため、小径の積層ゴムと直動転がり支承により長周期化を図っている。なお、小径の積層ゴムの場合は、水平変形能力が小さくなるため、二次形状係数を5.0として個体



としての水平変形能力を確保するとともに、オイルダンパーを設置して、応答変形を抑制している。

固有周期は $\gamma = 200\%$ 時に3.6秒となっている。また、減衰力は鉛プラグ入り積層ゴムが65%程度、オイルダンパーが35%程度となっている。



＜時刻歴応答解析結果＞

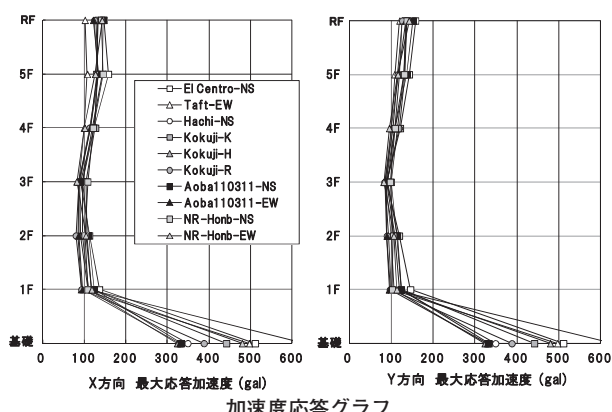
時刻歴応答解析は、平面形状および上部架構を考慮して非剛床の3次元立体骨組モデルとし、免震層についても各免震装置を個別にモデル化している。

極めて稀に発生する地震動時にも、設計クライテリアに対して十分な性能を発揮しているといえる。

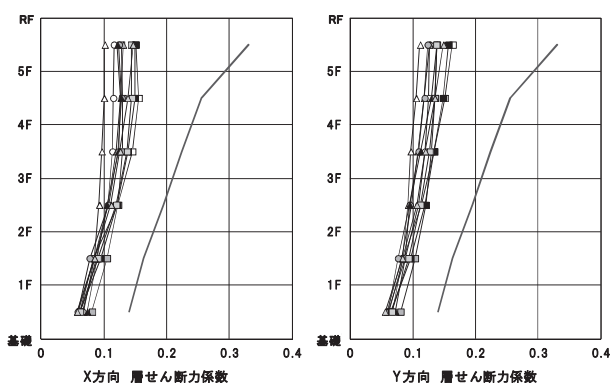
東北地方太平洋沖地震における強震記録については、二方向の地震動波形が得られているため、各記録波形を対応する方向に同時に入力した検討も実施した。最大方向の応答変位は21.2cmで、一方向入力時の最大応答変位20.5cmに対して4%程度の増加となっている。上部構造の応答層せん断力も若干増加するが、設計クライテリアを満足していることを確認した。

応答結果（極めて稀に発生する地震動時：標準状態）

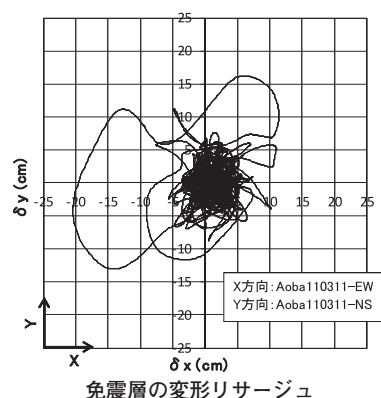
	X方向	Y方向	設計クライテリア
居室階応答加速度 (cm/s ²)	173.4	186.3	300cm/s ²
層間変形角	1/1934	1/2148	1/250
層間変位 (cm)	0.20	0.19	
1F 層せん断力係数	0.105	0.103	0.163 (設計用)
免震層層せん断力係数	0.081	0.080	0.140 (設計用)
免震層変位 (cm)	23.6	24.4	33.0cm(γ=250%)
免震層速度 (cm/s)	62.7	62.5	100.0cm/s



加速度応答グラフ



層せん断力係数グラフ



免震層の変形リサージュ

6 おわりに

震災から2年が経過した現在、ようやく復興に向けての第一歩となる3系実験研究棟の工事が始まりました。工事が開始したばかりのため、計画に関するレポートとのみとなりましたが、今後もよりよい建物とすべく努力していきたくと考えております。

また、今後予定されている建物を含めて、同一敷地内にこれほど多くの免震建物が計画されるのは初めてのケースではないかと思われます。大きな地震が起こる頻度が高い地域であることから、各建物における観測、記録の態勢を整えることによってさまざまな知見を得ることが出来ると思われます。このために、関係各様には是非ご協力を頂きたいと考えております。

7 謝辞

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測波につきましては東北大学工学部 源栄正人教授より提供いただきました。

また、設計におきまして、東北大学復興推進室、東北大学施設部の皆様には多大なる助言・ご協力を頂きましたことを感謝いたします。