

地階のある建物の基礎免震工事の施工

- 防衛呉病院 -

広島支店 建築部	松本信明
建築本部 建築統括部 設計部	仲林健
大阪支店 建築統括部 建築部	黒田孝之

概要: 呉病院は広島防衛施設局が呉市の海上自衛隊呉基地内に建設した建物で、民間病院業務を侵害しないよう普段は自衛隊関係者のみ診察するが、大災害等有事の際、被害者への救援活動の拠点となれることを計画の一つとしている。当初計画段階では免震の計画は無かったが、計画途中で安芸灘地震に遭遇し、急遽免震構造に計画変更、防衛庁で初めての免震建物となった。

Key Words: 免震, アイソレータ, ダンパー, 充填率, ATOMiK 工法

1. はじめに

本建物は海上自衛隊呉地方総監部の病院(1958年建設の江田島病院)の老朽化と医療機能の高度化、拡充の必要性から計画、建設されたものである。計画途中に安芸灘地震(芸予地震(平成13年3月24日))に遭遇し、急遽免震の必要性を検討下結果、免震構造の採用となり防衛庁では初の免震装置採用工事となった。

今後の同種工事で役に立つ部分が有ればと施工過程で発生した問題点と対処方法を報告する。

2. 工事概要

(1) 建築工事

工事名: 呉(13)病院新設建築工事 (他2件)

発注者: 広島防衛施設局

工事場所: 広島県呉市昭和町 13-1

海上自衛隊からす小島訓練所内

工期: 平成14年3月16日～

平成16年10月29日

(2) 建物概要

構造: 鉄筋コンクリート造

規模: 地下1階 地上4階 PH1階

基礎形状: 直接基礎(べた基礎)

支持層: 風化花崗岩(軟岩II)

建築面積: 2,213.13m²

延床面積: 8,654.77m²

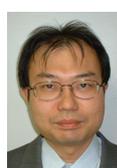
掘削深さ: GL-10.35m



写真-1 建物外観



松本信明



仲林健



黒田孝之

(3) 免震概要

RSL 免震システム (天然ゴムアイソレータと鉛ダンパー、鋼棒ダンパーの組み合わせ)

アイソレータ: 57基 (各柱の下に, 支える荷重により 600 -24 650 -18 700 -13 750 -2基)

鉛ダンパー: 18基

鋼棒ダンパー: 22基

免震平面・仮設計画図を図-1 に示す.

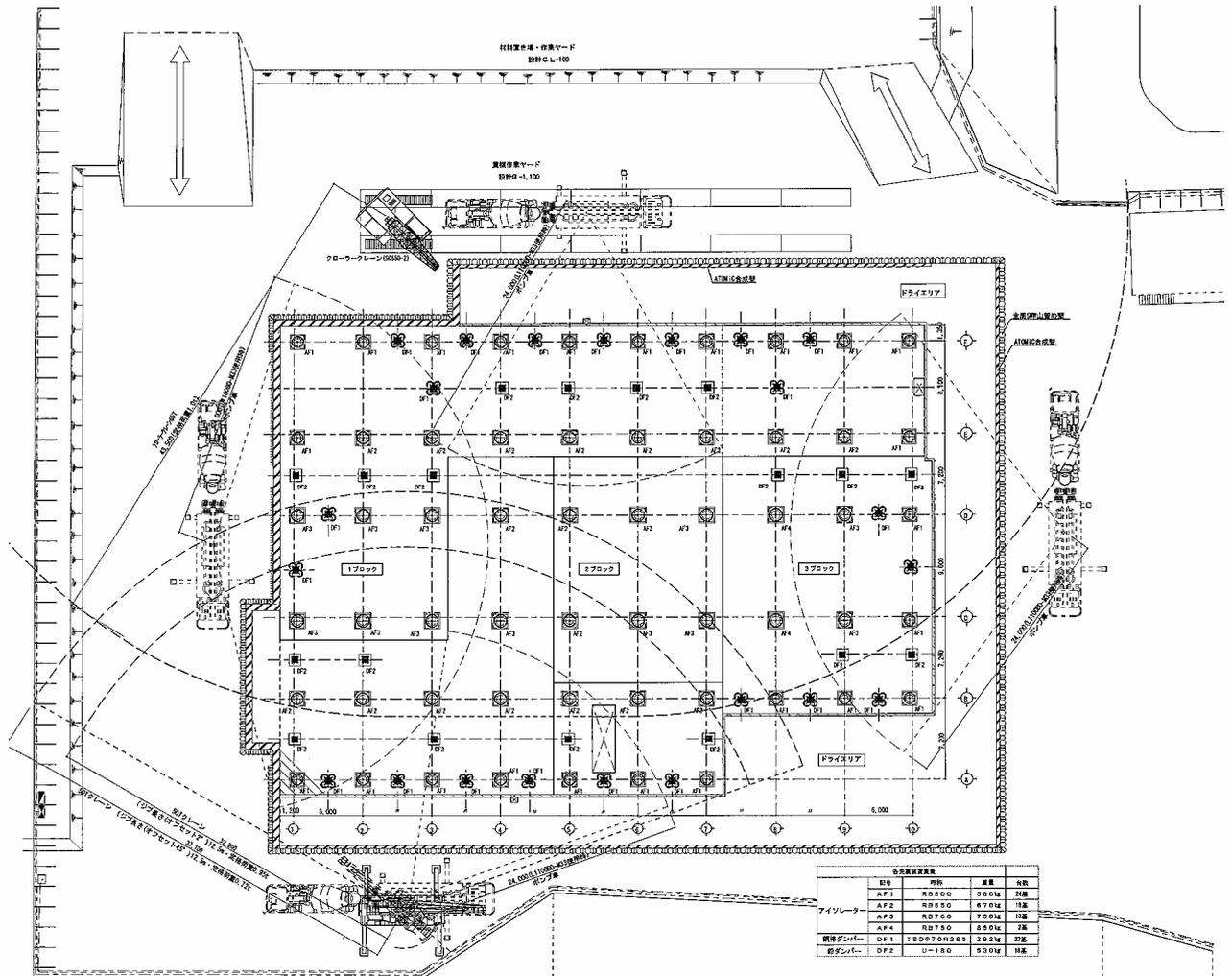


図-1 免震平面・仮設計画図

アイソレータは各柱の下に規則正しく配置されているが鋼棒、鉛の各ダンパーは建物躯体に一体設置された水槽やピットとの関係並びに建物の振動バランスにより不規則な配置となっている。なおアイソレータにかかる最大長期軸力は 8 - D の柱で 4,020kN である。

また今回の設計では免震装置について「施工者においても、免震装置決定後に免震層の構造計算を行い、応答変位 300mm以下 ベースシャー係数 0.130以下 免震装置廻りの構造体の安全を確保すること この条件を全て満足することを確認すること」と明記されている。

次頁の図-2 に玄関付近の断面と免震層断面図を示す。

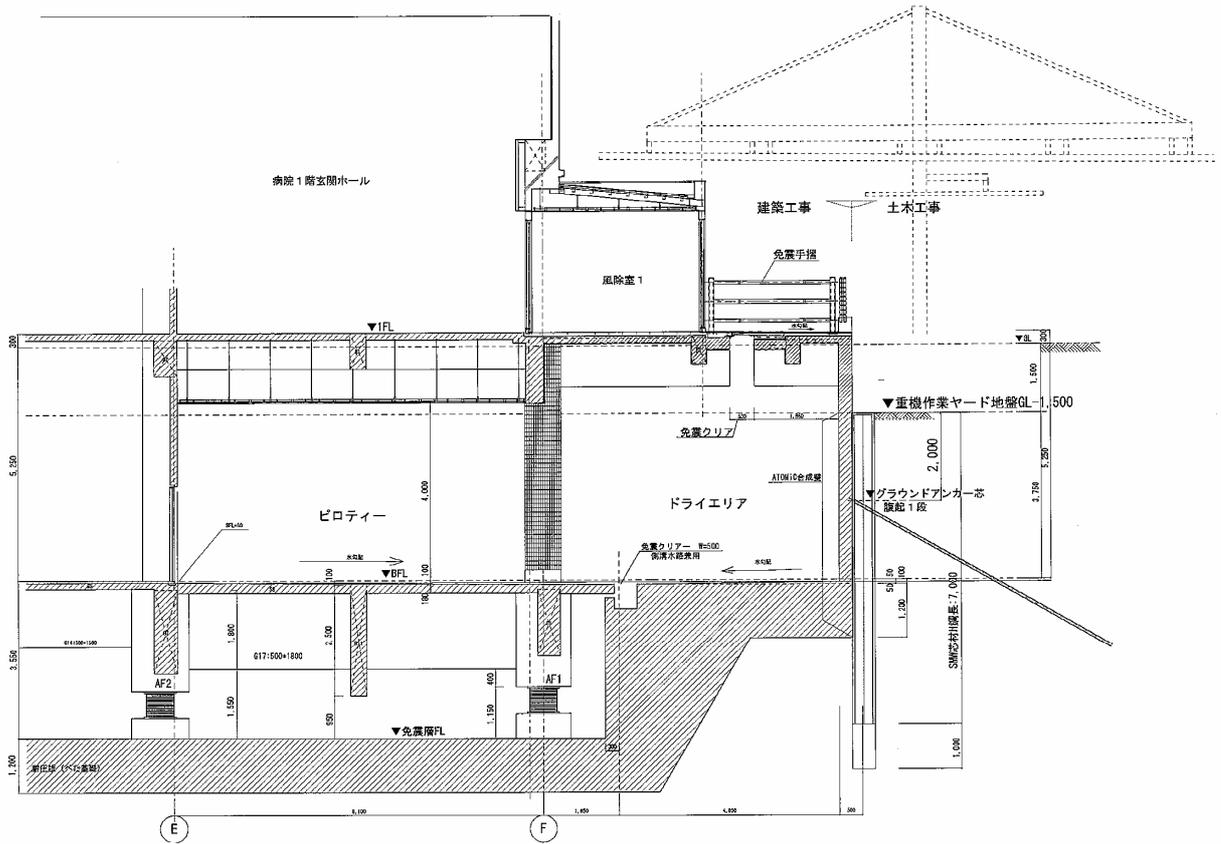


図-2 免震層断面図

断面で分かるように、免震層が地下1階の下の基礎にあり装置のセットは地下2階となる。また、地震で揺れても建物とぶつからないよう建物周囲に50cmのクリアランスを設けこれを可動式のグレーチングで処理する。免震装置取り付け状況を写真-2に各装置の写真を写真-3に示す。



写真-2 免震装置取り付け全景



写真-3 免震装置(左よりアイソレータ,鉛ダンパー,鋼棒ダンパー(白い部分養生材))

3. 仮設計画と施工上の問題点

先に述べたように計画の途中から免震の採用となったため、発注者の計画予算が厳しく山留め仮設計画の再検討と変更が発生した。当初設計では、地質が軟岩のため先行掘削(オールケーシング工法で1,200掘削その後現地掘削土で埋戻し)のうえ鋼製矢板を打設,グラウンドアンカーにて腹起しを掛けて,中央まで乗り入れ鋼台を設置する計画であったが,予算が厳しく山留めの3方を無くしてオープン掘削が可能か検討するよう指示があった。

これに基づき仮設計画を進めると次のような問題点が明らかになった。

- 1) オープン掘削にすることによって掘削面積が大きくなるため(地表面積約6,600m²)地表付近の障害物(既存の工場基礎他)撤去が約2倍に増加する。
- 2) 掘削土量が約50,000m³と予定数量の1.5倍となり,一部場内仮置きが可能であるが,ほぼ全て場外搬出仮置きの上埋戻し時に約21,000m³が再度搬入となる。
- 3) 上記1)の掘削面積が大きくなることにより,降雨時の雨水処理に不安が発生する(1時間当たり50mmの雨が降れば排水量は1時間当たり330tとなる)また法面の面積が大きくなり法面洗掘処理の検討が必要となる。
- 4) 雨水排水については躯体完了後埋戻しが終了しても埋戻し部分に溜まる水の圧力により構造体(建物)が浮き上がってしまう可能性が有る(浮力予想25,000tは単純計算で2F躯体完了時釣り合う)
- 5) 材料搬入に関する仮設について,躯体工事部分からグラウンドライン重機設置位置まで約10mの距離が必要となり,材料搬入のためにより大きな揚重機が必要となる。

4. 免震工事計画と問題点

- 1) 免震装置と躯体との接合にスタッドアンカーが必要であるが,スタッドと下部基礎配筋が干渉する。また上部梁筋との取り合いも干渉する。
- 2) 免震装置を取り付けるために装置の下に隙間(今回約30cm)が必要であるが,この部分の充填材料はコンクリートでよいのか,および充填が確実になされるのか疑問が提示された。
- 3) 免震構造は免震上部の躯体が水平方向に動きやすくなっているため,型枠組立からコンクリート打設時にかけて動きをどう処理するか,また,打設時の不均等な打設荷重を免震装置に伝えないようにするにはどう処理するか検討が必要となった。
- 4) 鉛ダンパーの基礎部分において,スタッドアンカーの引き抜きを拘束する強度が構造の考え方により不足する可能性が発生した。
- 5) 免震装置のうち,アイソレータと鉛ダンパーは本体と躯体取り付け用ベースプレートが分離されており,この部分のジョイント用ボルトが普通ボルトで設計されていたが,免震空間は地下2階部分であり湿気が予想された。

5. 施工方法

- 1) 山留めについては検討の結果,全周山留めが必要と判断し,コスト低減の目的でATOMiK工法を採用した。

ATOMiK工法は山留めをSMWで実施(オールケーシング工法で1,200 先行掘削(H=8,000~H=12,000)を実施した後,掘削土で埋戻しその場所にSMWを施工する)し,グラウンドアンカーによる腹起しをかけて掘削,擁壁の工事においてSMWの芯材(H鋼)にスタッドを打って,擁壁と一体にする工法で,本工法の採用によって擁壁厚さが低減でき(約50%),乗り入れ構台が不要になるなど原価の低減を提案することが出来た.

ATOMiK合成壁の断面を図-3に示す.

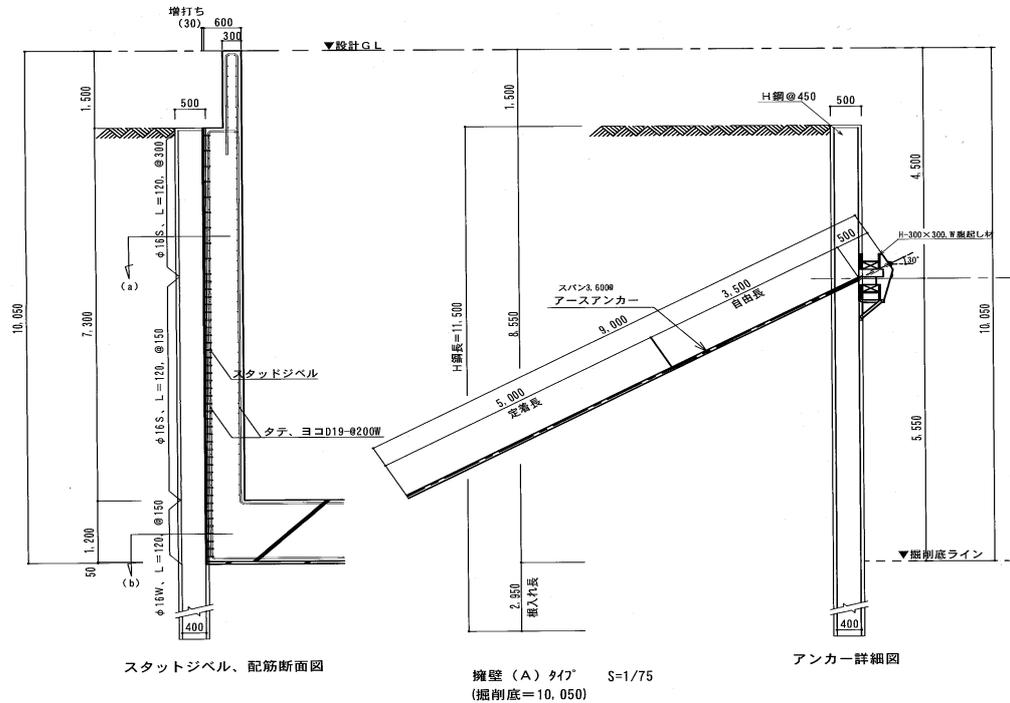


図-3 ATOMiK合成壁の断面

- 2) スタッドアンカーが柱筋と干渉する問題については,柱筋建て込み前の墨出し段階でベースプレートとスタッドの位置を捨てコンクリート上にマーキングして,これをかわして配筋し周囲より斜め筋で固定した.墨出しの状況を写真-4に示す.またベースプレーと下部の状況を写真-5に示す.

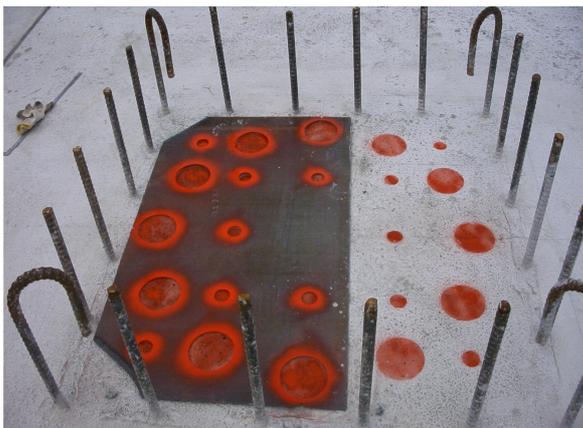


写真-4 アンカー位置墨だし



写真-5 試験体取り付け

- 3) 免震装置取り付け用の空間は,普通コンクリートをプレート下5cm程度まで打設して,空間を無収縮モルタルで充填する方法と,30cmの空間全てを高流動コンクリートで充填する方法を検討した.

無収縮モルタルを充填する方法は,普通コンクリートを打設した上面(ベースプレート下に隠れた部分)の仕上げが十分に出来ない,コンクリート打設とモルタル充填が2段階の工程となり日数が伸びる等の問題点が見られた.一方高流動コンクリートはJIS認定がとれていないので公共工事に使用できるか,プレート下の接着面において

確実な充填が確保できるのか疑問があった。検討の結果モルタル充填工法は工期の問題で採用が難しく、高流動コンクリートについて詳細検討を実施した。

JISの問題は、30cmの部分コンクリート躯体ではなく充填材ととらえることで監理者に了解を頂いた。次に充填施工性の問題であるが、生コンプラントにおいても高流動コンクリートの出荷実績が少ないため実大試験を実施した。まず配合計画に基づき工場において試験練りを実施、ワーカビリティの確認と強度確認を行い、その後現場に実物大の試験体を準備、実際の工事と考えられる手順と工具で打設試験を行うと共に、硬化後にベースプレートを撤去して実際の充填率の解析を行った。

試験練り計算書を図-5に示す。

試験練り計算書・報告書											
ピーエス三菱・大の木建設建設共同企業体 殿						平成14年12月20日 日本工業規格表示認定工場 認定番号:669033 安芸菱光株式会社 呉工場 広島県呉市本町1丁目11-17 TEL:0823-71-3281 FAX:0823-71-3283					
工 事 名 称 呉 (13) 病院新設建築工事											
試験練り実施日			平成 14 年 12 月 20 日			試験番号			整理番号		
室 温		20 °C		湿 度		65 %		外気温		11 °C 天 候 晴れ	
配 合 の 設 計 条 件											
呼び方	コンクリートの種類 による記号		呼び強度		スランブフロー		粗骨材の最大寸法 による記号		セメントの種類 による記号		
	普通		30		55		20		N		
指定事項	軽量コンクリートの単位容積質量		— kg/m ³		空 気 量		3.0 %				
	コンクリートの温度		35 °C以下		混 和 材 料 の 種 類		膨張材				
	呼び強度を保証する材齢		28 日		アルカリ骨材反応抑制対策の方法		A				
	水セメント比の上限值		35 %		単位セメント量の下限值又は上限値		500 kg/m ³				
	単位水量の上限值		175 kg/m ³		塩 化 物 含 有 量		0.20 kg/m ³ 以下				
流動化後のスランブ増大量		cm									
配 合 表 (kg/m ³)											
セメント	混和材①	混和材②	水	細骨材①	細骨材②	細骨材③	粗骨材①	粗骨材②	粗骨材③	混和剤①	混和剤②
480	20	—	175	415	125	305	413	413	—	11.00	—
水セメント比			35.0 %			水結合材比			— %		
						細骨材率			51.0 %		
1 バッチ = 30 ℓ				吸水率 (%)	1 m ² 当り (kg/m ²)	バッチ量 (kg)	表面水率 (%)	補正值 (kg)	補正後 (kg)	容器質量 (kg)	計量値 (kg)
セメント	普通ポルトランドセメント			—	480	14.40	—	—	—	—	14.40
水	地下水			—	175	5.25	—	-0.22	5.03	—	5.03
細骨材	砕砂			—	415	12.45	0.4	+0.05	12.50	—	12.50
	乾式砕砂			—	125	3.75	0.2	+0.01	3.76	—	3.76
	石灰砕砂			—	305	9.15	1.7	+0.16	9.31	—	9.31
粗骨材	碎石2015			—	413	12.39	—	—	—	—	12.39
	碎石1505			—	413	12.39	—	—	—	—	12.39
混和剤	マイテイ3000S			—	11.00	315 cc	—	—	—	—	315 cc
混和材	デンカパワーCSAタイプS			—	20	0.60	—	—	—	—	0.60
試 験 結 果											
練り混ぜ時間	フロー値	空気量	コンクリート温度	塩化物含有量(kg/m ³)							
経過時間	(mm×mm)	(%)	(°C)	①	②	③	平均値				
4分	550×570	3.0	19.0	0.051	0.051	0.051	0.051				
強 度 試 験 結 果 (N/mm ²)											
(Na) 材 齢 7日 (12/27)						(Na) 材 齢 28日 (1/17)					
1						1					
2						2					
3						3					
備考											
50cmフロー到達時間=5.56秒 ブリーディング量 =0 cm ³ /cm ²											

図-5 試験練り計算書

試験体は、実物と同じ鋼板で最大サイズ(1,250×1,250 厚さ 32mm)のもの、コンクリートの充填状況を確認できるように透明アクリル板でプレートを作成したもの(1,250×1,250 厚さ 19mm)の2種類を準備し、いずれの試験体もコンクリートの硬化後、プレートを取り外せる構造とした。

試験の結果、アクリル試験体は空気の巻き込みもなくプレート中央部では確実に充填されたが、プレートの四隅においてコンクリートの落とし込みのみではプレート高さまでコンクリートが充填されず、外周から充填作業を行った。鋼板試験体は、時間経過に伴いコンクリートの流動性が若干失われていたため、四方に均一にコンクリートが流れず、型枠のたたきおよびバイブレータを用いての打設を行った。どちらもコンクリートの硬化後プレートを取り外し、コンクリート面の凹(気泡跡)部に黒、プレート付着面に白のペンキを塗布しデジタルカメラにて撮影、コンピュータで画像解析を行いコンクリートの充填率を算出した。充填試験の状況を写真-6に、充填率解析画像を写真-7に示す。

解析の結果、充填率はアクリル試験体で96.5%、鋼板試験体で93.1%といずれも90%を超えており、免震装置の性能として特に問題はないと判断され、実施工では、中央よりの落とし込みとし、周辺部分はバイブレータと、たたきにより充填することとした。

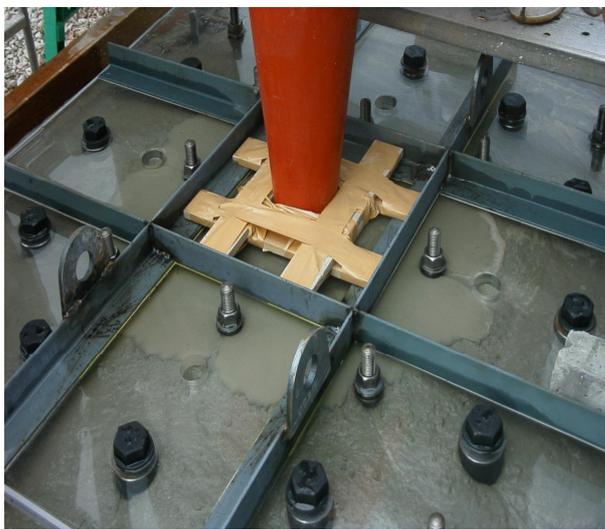


写真-6 充填試験 アクリル板試験体

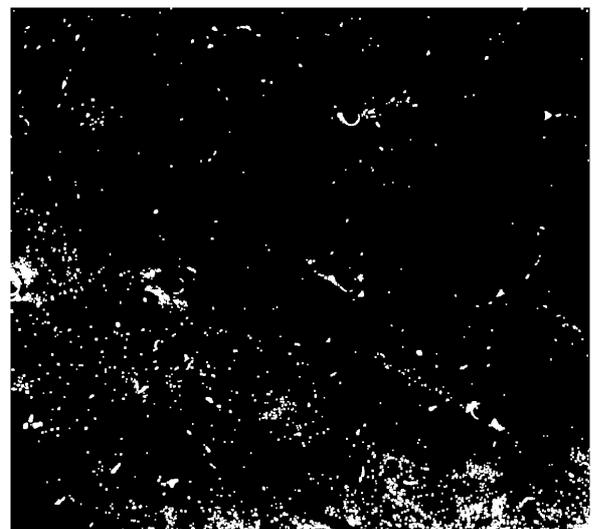


写真-7 アクリル板試験体 充填率解析画像

- 4) 躯体工事中に免震装置に働く上下左右の荷重の処理は、地下1階のスラブを支える梁(免震装置の上に直接取り付く梁)の梁下用型枠サポートを枠組み支保工でサポートすることにより、水平移動を拘束して免震装置直近までサポートすることで解決した。(SRC等で鉄骨建て方が発生する場合の水平力拘束は下部ベースプレートと上部ベースプレートをターンバックル付きのプレスで固定するのが一般的である)
- 5) 設計における鉛ダンパーに掛かる力は水平力のみを検討してあったが、回転による引き抜き力を負担させる必要があると判断された。このため構造検討の結果、設計の基礎寸法ではコーン状破壊に対する耐力が不足すると判断され基礎寸法を700×700から950×950に変更した。
- 6) 製品接合用のボルトは免震装置の維持管理及び、万一免震装置取り替え作業が発生した場合を考慮して亜鉛メッキボルトに変更した。

躯体工事完了時の免震装置設置状況を写真-8に示す。



写真-8 免震装置状況(躯体工事完了時)

6. 地下免震工事についてまとめ

免震建物を完工し振り返ってみると、設計段階では、免震装置本体については各メーカーがそれぞれに責任を持って検討、製作しており、ダンパー、アイソレータの組み合わせによる性能の確認を行った。

一方、施工段階では、免震装置を設置することにより、周囲との納まりについていろいろな検討が必要となった。今回の報告以外でも、ドライエリアの上をまたぐ鉄骨製橋の免震処理、周囲のクリアランスを処理するためのグレーチングの納まり、可動性手摺りの形状・動作方法、雨掛かり部分に設置された免震装置の可動雨よけの考案、別途設備工事との取り合いなど、検討すべき課題が多くあった。これらの問題をクリアして無事竣工引渡しを完了したが、その後、気になった点は、建物の地下で発生したメンテナンスの音が4階でも聞こえ、建物がゴムによって浮いているため躯体の振動が建物隅々まで伝わるのではないかと考えられることである。今後免震建物を施工する際には、音の伝達についても十分な検討を行うべきと考える。

これらさまざまなことを検討確認しながら、色々経験し無事竣工できたことは関係いただいた皆様のおかげと感謝している。