LG CNS Busan Data Centerの設計と施工







江利川 俊明



キム デジュン



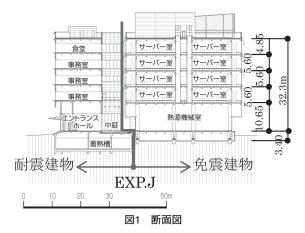
ハン キテ ェコニング

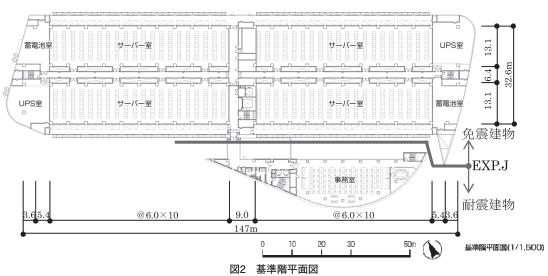
1 はじめに

全世界的に自然災害に対する警戒心が高まってい る中、建築主であるLG CNSは、地震や洪水などの 災害に完璧に備えたデータセンターを、地震多発地 帯の日本ではなく、一般的に地震の安全地帯とされ ている韓国のプサン市ミウム地区に計画し、建設す ることとなった。我々は韓国の設計事務所と共同で コンペに参加し、コンペ最終段階でデータセンター の重要性から免震化を提案してコンペに勝利した。 その後、建築主と協議を進め、地震の少ない韓国に あっても免震化することで、更なる信頼性の高さを 世界に誇れるデータセンターとする確認をした。こ のプサンデータセンターは、韓国のデータセンター としては初めて免震構造(電算棟のみ)を採用した 建物であり、徹底した耐震設備化は勿論の事、想定 外の地震(韓国におけるRMスケールの震度階で7レ ベルが生じた場合)においても無停止サービスが提 供可能なものとなっている。



写真1 建物外観





建物名称: LG CNS Busan Data Center場所: 韓国プサン市ミウム地区

建 築 主: LG CNS設計・監修: 別記

施 工 者: SERVEONE (建築)用 途: 電算センター, 事務室

階 数:地上5階, 塔屋2階

敷 地 面 積:12446.45m² 延べ床面積:32531.32m²

構 造 種 別:鉄筋コンクリート造

(電算棟:免震構造、事務棟:耐震

構造)

基 礎:場所打ちコンクリート杭基礎

施 工 期 間:2012年2月~2012年12月

2 韓国の構造設計事情と免震構造の設計クライテリアの設定

韓国においては、建物の構造設計手法が日本と異 なり、許容応力度設計手法や弾塑性解析による保有 水平耐力の確認を行うのではなく、荷重係数法によ る弾性応力解析による部材の終局強度設計(LRFD: Load and Resistance Factor Design) が一般的であり、 その内容は韓国構造設計基準(以下KBC2009) に示 されている。特に地震荷重の設定方法は、IBC2009 (International Building Code 2009) をベースに作成さ れている。また韓国は日本に比べ地震が少なく、図 3に示す2400年再現期待値による最大加速度を考慮 した韓国の建築設計基準による設計用地震力は、塑 性化を考慮しない場合で日本の1/2~1/2.5程度であ る。建物の塑性化を考慮した低減係数等を考慮する とさらに小さな値となり、日本の1/3~1/6程度となる。 一方、地震が少ない韓国でも、活断層がいくつか 存在していることが確認されている。しかし、その 活断層による想定地震の規模や活動周期の本格的な 調査研究は日本ほど強く押し進めてられていないの が現状である。さらに、韓国内での免震建物の実績 は設計当時で5件程度のみであり、免震構造の設計 経験者は非常に少なかった。そこで免震層の設計は、 日本側で行うこととし、設計用入力地震動とそれに 対する電算棟の上部構造の耐震クライテリアを、以 下のように設定した。

1. 電算棟における大地震時の設計用入力地震動レベルは、日本の福岡市における「極めて稀に起こる地震動」レベルと同等とし、日本で用いる告示入力地震動波形と観測地震動による検証とする。

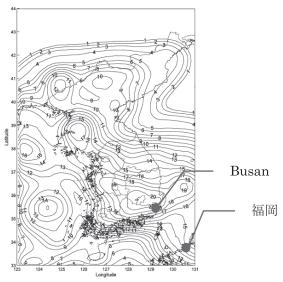


図3 2400年再現期待値おける韓国での有効基盤での加速度マップ(単位:0.01×G)

2. 電算棟では、上記の入力地震動に対して上部構造は塑性化を生じさせない事とする。またサーバーの機能維持を考慮して、大地震における電算棟の床応答加速度は250gal以下とする。

3 設計体制

本プロジェクトでは、韓国の事務所と以下に示す 設計JVを組んだ。

1. 建築及び構造:

Gansam (韓国の意匠設計事務所 設計JV代表), 構造設計はTsec (韓国の構造専門設計事務所)、 なお韓国側の免震監修としてEconing Co. Ltd.が 担当。

- 2. 設備:LG-Toyo (韓国の設備設計会社)
- 3. 監理: Gansam (韓国の免震層の監理監修は、 Econing Co. Ltd.)

なお日建設計は、以下の業務を行った。

- ・意匠・設備:基本設計および実施設計監修と監理 監修。
- ・構造:構造基本設計および実施設計監修。 免震部材選定および性能確保の仕様確認、 免震層の施工の監理監修。

基本設計は日建設計が中心となって全般に行った。実施設計は韓国での法的問題を考慮して韓国側の事務所を中心とし、日建設計は監修業務とした。なお免震層の設計は、日建設計が行い、免震部材の配置設計・免震部材選定根拠となる免震部材の仕様書の作成、およびその根拠となる免震層の時刻歴応答解析を伴う構造計算も行った。また、上部構造全般、基礎梁、基礎、杭等の設計に関しては、韓国側

の事務所で行うものとし、免震部材取り合い部の設計に関しては、その考え方や応力状態を日韓相互で 共有して進めた。

建物の主体構造は、RC造純ラーメン構造として計画した。上下動を考慮して、上部構造の地震時の水平荷重に対する変動軸力は長期軸力の0.7倍以下とし、免震部材に引張り力が生じない設計とした。なお、免震層以外の上部構造・下部構造の設計は、KBC2009に準拠して検討を行った。免震構造となる電算棟では、免震構造としての建物・基礎への入力地震力を考慮して、部材断面の検討方法を新たに設定して設計を進めた。

なおプサン市等との協議により、今回の電算棟は特例として、構造は杭と上部構造のみの審査、かつ、上部構造はKBC2009で示す耐震構造としての地震力以上となるため、一般構造としての審査のみとなった。

具体的な設計手法は次による。

・免震層に生じる応答最大層せん断力係数は、時刻 歴応答解析から0.10であることを考慮して、上部 構造のベースシアー係数を C_B =0.10(KBC2009で はV/W=0.10)と設定した。上部構造は、この時 の地震力に対して以下の①と②を共に満足するよ うに、構造実施設計で上部構造、免震層上下梁の 部材設計を韓国側で行った。

- ① 1.2D+1.0L+1.0E≤ φ・U (KBC2009に準拠、なおKBC2009では地震時の変形制限として、弾性計算に変形増大係数Cdを考慮した層間変形角に対して、耐震等級に応じて0.01~0.02rad以下としている。)
- ② 部材が塑性化しないレベル相当となるように韓 国規格鉄筋の性能等を考慮して、荷重係数法に て、1.2D+1.2L+1.3E≦Uを新たに設定。

D: 固定荷重によって生じる部材応力

L: 積載荷重によって生じる部材応力

E:地震荷重によって生じる部材応力

φ:材料強度低減係数(鉄筋コンクリートにおける 曲げ応力に対しては0.85、せん断応力に対して は0.75、軸方向力に対しては0.70)

U: ultimate strength (部材の終局耐力)

4 免震層の設計と免震部材の選定

免震層の設計に関しては、電算棟の耐震クライテリアと韓国で使用できる可能性のある免震部材の性能等を考慮して、以下の設計方針とした。

・自重と積載荷重を考慮した長期(1.0D+1.0L)の 面圧は、13N/mm²以下とする。

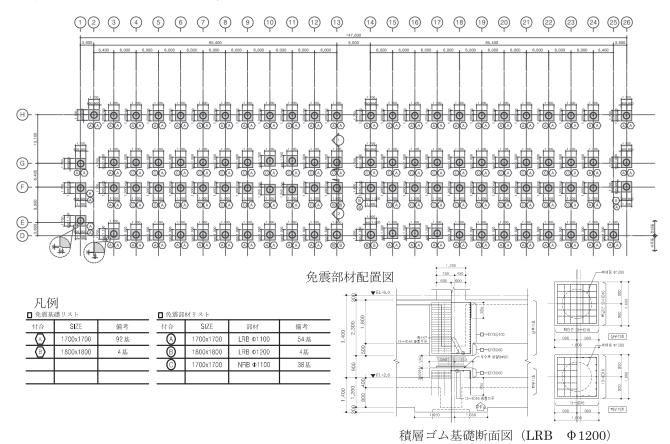


図4 免震部材配置図と積層ゴム基礎断面図

- ・積層ゴムアイソレータ(以下積層ゴム)の地震時の設計面圧 $(1.0D+1.0L\pm1.0E)$ は、 $26N/mm^2$ 以下、設計許容変形量は55cm(1100 Φ 積層 ゴムのせん断歪250%)程度以下とし、この変形に対しても損傷することなく、地震後もその性能を保持できるものとする。
- ・積層ゴムの破断性能は、長期面圧相当(13MPa) 時でせん断歪350%程度以上とする。
- ・擁壁、隣接建物との間には、応答量より大きい有 効60cm以上のクリアランスを設ける。
- ・地震後の残留変形を是正するため、ジャッキ等で 原位置に戻せる計画とする。
- ・鉛直地震動として静的鉛直震度 $K_v = 0.3$ Gを考慮した場合にも、積層ゴムには引張面圧が生じないことを確認する。

免震部材の配置図および積層ゴム基礎断面図を図 4に示す。

検討用地震動波形としては、日本(福岡)で極めて稀に発生する地震動として用いる告示入力地震動波形(3波)と観測地震動波形(Vmax=40cm/secで3波)の合計6波とした。告示入力地震動波形は、工学的基盤以浅の地盤特性を考慮するため、1次元重複反射応答解析プログラム(SHAKE)による時刻歴応答解析により、入力位置(基礎底)の水平地震動波形を作成した。観測地震動については最大速度を40cm/sec として基礎底に直接入力した。入力地震動のレスポンススペクトル(h=0.05)を図5に示す。

免震部材は、韓国では別置きの履歴ダンパーやすべり支承が入手困難であることと、風に対する免震層の変形を極力小さくしたいことから、天然ゴム系積層ゴム(以下NRB)と鉛プラグ挿入型積層ゴム(以下LRB)の組み合わせとし、NRB:1100Φ×38基、LRB:1100~1200Φ×58基(ダンパー量 as=3.3%)とした。LRBの鉛降伏荷重はKBC2009に示す風荷重を上回っている。なお免震部材の選定については、工期に対する納期の問題と経済性の観点から、建築主と協議の上、本建物の免震部材に必要な諸性能を明確に示すスペックを提示する事で、日本製品のほか韓国製品を選定可能にした。

免震層の設計では、建物と免震層を線材置換した 部材レベルの立体骨組モデル(静的応力解析モデル と同じ)から、層毎に剛性および重量を1つのバネ と質点に置換したモデルを作成して、時刻歴応答解 析を行った。建物の減衰は、粘性減衰(剛性比例型) とし、h=2%(但し免震層については、履歴減衰の み)とした。

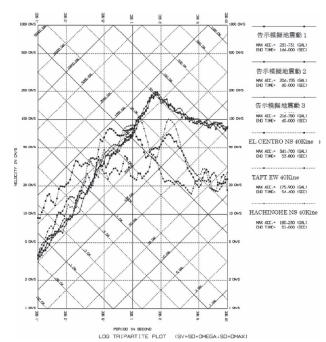


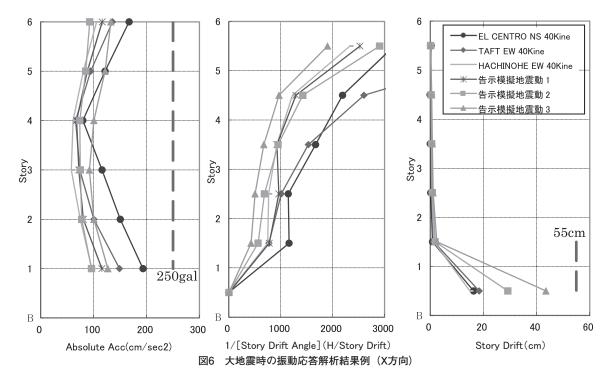
図5 本建物における入力地震動波形のレスポンススペクトル (h=0.05)

表1 各段階における固有周期 (sec)

		X	Y
免震層初期剛性時	T1	2.10	2.09
	Т2	0.60	0.59
免震層固定とした	T1	1.35	1.34
時の上部構造のみ	Т2	0.45	0.44
免震層 2 次剛性時	T1	5.03	5.02
	Т2	0.68	0.68

 $\Sigma W = 982000 kN$

大地震時の時刻歴応答解析結果を図6に示す。免 震層の最大変形はX方向43.5cm、Y方向43.5cmと目 標の設計許容変形量55cm以下となっている。また 上部構造の最大応答加速度は194galと目標の250gal 以下となっている。1階の応答最大層せん断力係数 は $C_p = V/W = 0.10$ で、上部構造の設計で用いた設計 用層せん断力係数以下であり、各積層ゴムは鉛直震 度K = 0.3を考慮しても、引張力が生じないことを 確認した。なお、免震層の最大変形量が設計許容変 形量の55cmに対して若干余裕がある。しかし、後 述するように使用する積層ゴムは韓国製としたた め、日本で行われているような免震部材の材料認定 時に示される製造実績等から定める製品のばらつき 等が明確でない点、海外の時刻歴応答解析では、各 地震動波形での最大応答値の平均値を評価するが、 今回は日本的に最大応答値を評価して設計を行って いる点等を考慮すると総合的に妥当な判断と考える。



5 免震建物の施工とNRB・LRBの性能確認

海外では、実施設計段階の図面はほぼ施工図に近 い状態まで作り上げるのが一般的であり、日本で行 なうような現場で設計者と施工者とメーカーが協調 して検討しながら進めていく習慣があまりない。そ れは韓国においても同じであり、特に免震部材やエ キスパンションジョイントの製造業者自体もあまり 経験がないため、工期内で作り込む時間の確保が必 要であった。一方、本建物は杭基礎であったが、韓 国では基礎外防水を行ってマットスラブとするのが 一般的であり、今回の設計も同じであった。そのた め、工事着工後にすぐに杭工事を行った後に免震工 事が始まるため、積層ゴムの作り込み期間が少ない 状況であった。さらに、積層ゴムの製造は、韓国の 免震部材業者(NRBはDRB社、LRBはUNISON社) が担当する事となった。日本では国土交通大臣によ る材料認定時に、各種の性能試験を行って積層ゴム の保有性能を確認するが、韓国ではそのようなシス テムは確立されていない。さらに今回の設計では、 積層ゴムの破断性能をせん断歪350%程度以上とし ているため、その性能確保は容易ではないことから、 実大試験による性能確認が必要と判断した。

そこで本建物の積層ゴムの保有性能の確認のために、実大または実大相当の積層ゴムを用いて各種せん変形性能確認試験やクリープ試験などをDRB社とUNISON社で急遽行い、積層ゴムの保有性能を確認した。積層ゴム製造各社で行ったせん断変形性能試験、LRBのカット試験体例と試験結果例を写真2~4

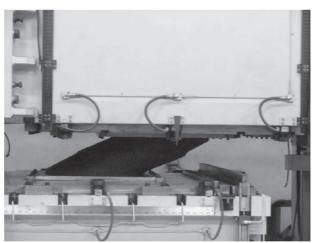


写真2 NRBのせん断変形性能試験(DRB社)



写真3 LRBせん断変形性能試験(UNISON社)

と図7~8に示す。一方、韓国においては、免震構造の施工例が少ないため、免震層周りの施工に関しては、「JSSI免震構造施工標準2009」(日本免震構造協会編集,経済調査会発行)を参考に進めることとした。特に積層ゴムの基礎は、現地では高流動コンクリートの入手が難しいため、高流動無収縮モルタル

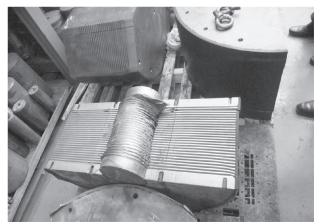
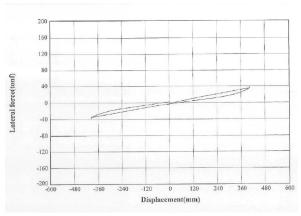
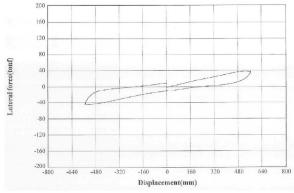


写真4 UNISON社での製品作り込み段階時のLRBのカット試験体



250%せん断歪時(面圧 13MPa 時)

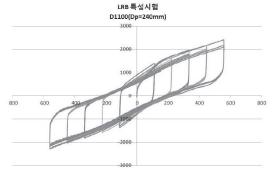


350%せん断歪時 (面圧 13MPa 時) 図7 DRB社製800φのNRBの変形性能

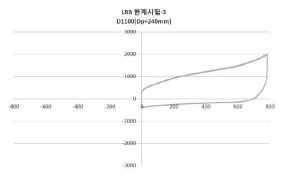
を用いて基礎を構築する事とし、施工試験を行って 積層ゴム下部へのモルタルの回り込みや、収縮の影響に問題ない事を確認した(写真5参照)。

当初、積層ゴム基礎は配筋リストのみで、積層ゴム取付けボルトと配筋の収まり詳細図を図面化していなかったことによる現場での補正や、免震装置のレベル・勾配調整に時間を要したものの、施工者の熟練度が上がるに従い、滞りなく施工が行われるようになった。

設備機器の配管の可撓継ぎ手は、一般に湾施設等 で用いているため、信頼性がある韓国製品を用いた



250%せん断歪時(面圧 13MPa 時)



350%せん断歪時 (面圧 13MPa 時) 図8 UNISON社製1100φLRBの変形性能

(写真9参照)。しかし、耐震構造である事務棟との接続部の屋内エキスパンションジョイントは、建物ごとに形状が異なるため、現場段階でメーカーが設計意図を解釈してその機構を作り上げていく必要がある。またその材料自体も金型を使うものが多いため、製作期間や製作費を考慮して、金型を既に持っている日本のメーカーが製作した部品を輸入して組み立てる事とした。さらに施工最終段階においては、設備配管の可撓継ぎ手、免震層内の配管の配置、エキスパンションジョイント等が、免震層の動きに支障なく追従できる事を、監理監修業務として直接確認した。



写真5 現場での積層ゴム基礎の施工試験状況

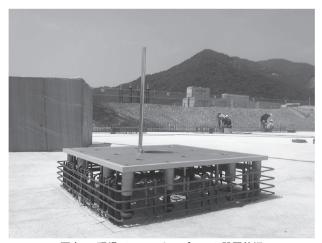


写真6 現場でのアンカープレート設置状況



写真7 現場での積層ゴムの設置状況

6 おわりに

2011年東北地方太平洋沖地震以降、日本における 建物の建設における耐震技術の高さは、世界で認知 されつつあると考えられる。しかしその技術は、設 計手法や施工技術を含めて独自のものであることが 多く、そのままの形で海外にて流用することは出来 ない。免震構造においてもその点は同じであり、海 外でその技術を用いる場合には、免震構造の設計方 法を現地の設計法と融合させる必要性や、現地の施 工方法を考慮した新たな手法の確立が必要であっ た。今回は隣国の韓国にて日本式の免震構造の建設 を行ったが、日本では経験しない数々のトラブルを 乗り越えて竣工させることができた。

最後に本プロジェクト関係者の皆様方には多大な るご指導ご鞭撻を頂き、心より深くお礼申し上げま す。



写真8 現場での積層ゴム基礎の配筋状況



写真9 韓国製の可撓継手の配置状況



写真10 積層ゴムアイソレータの配置状況