

東京駅丸の内駅舎の保存・復原

Preservation and Restoration of Tokyo Station Marunouchi Building



林 篤*



鈴木 勇**

Tokyo Station Marunouchi Building that is a huge structure, its over 330 m-long and 3-stories high brick building was completed as the central station of Tokyo about 100 years ago. Since the roof and the inside were burnt down in the W.W.2nd.1945, it had existed in a temporarily restored form. For the purpose of preservation and restoration of the building to its original appearance, isolation system was adopted. Although the building has a complex relative location to the nearby structures, as many as 352 isolators units and with 158 oil dampers have made it possible to control the shaking of the structures. This work was carried out safely, while many passengers have been using this nation's largest terminal station every day.

●キーワード：保存・復原、鉄骨レンガ造、免震構造、オイルダンパー、逆打ち工法

1. はじめに

東京丸の内界隈では、「世界をリードする魅力と賑わいのある国際都市」を目指し、都心機能の高度化を図るとともに、「歴史と文化を生かした都市空間形成」が推進されている。東京駅丸の内駅舎は、首都東京の「顔づくり」を行う上で鉄道建築史上極めて重要な役割を担うものであり、その文化的価値が認められ、平成15(2003)年5月30日に国の重要文化財に指定されている。平成19(2007)年より可能な限り創建時の姿に保存・復原^①する工事が進められ、平成24(2012)年10月に開業を迎えた。

2. 丸の内駅舎の沿革

2.1 駅の開業

東京駅丸の内駅舎、通称「赤レンガ駅舎」は、近代日本を代表する建築家である辰野金吾博士により設計された。この中央駐車場の建設は、日露戦争の影響や設計変更などにより具体化までに時間を要したが、明治41年(1908)年3月25日着工、6年後の大正3年(1914)年12月20日、「東京駅」と名称を改め、営業が開始された。

2.2 創建時の姿

駅舎は、皇居の正面に位置する南北約335mにおよぶ長大な建物で、建設当初は地上3階、一部地下1階建て、背面(ホーム側)には平屋付属部分があり、総建築面積は約10,500m²であった。創建当初の出入口については、南ドームが「乗車客用」、北ドームが「降車客用」であり、中央部分には「帝室専用昇降口」とその北方に「電車線専用の出口」があった。1階には駅長室、皇室用休憩室および

待合室、1、2、3等待合室、食堂、小手荷物交付諸室等が設けられた。2、3階については南側約半分がホテルの客室や食堂であり、北側が鉄道院の事務室であった。



図1 創建時外観

2.3 震災と戦災

大正12年の関東大震災では駅舎に大きな被害はなかったが、第二次世界大戦末期の昭和20年5月25日、空襲による火災で屋根や天井が損壊した。屋根の復旧工事においては、陸軍から鉄道省建築課に移籍した高山馨氏が、五平の木材を組合せゼベルと釘で接合した工法による木造トラスの構造設計を行った。屋根葺材はトタン板を亜鉛めっきして葺き上げ、ペンキ塗り仕上げが施された。これにより、旧3階建から2階建への復旧工事が昭和22年3月に完了した。

その後、昭和26年から27年にかけて、平屋部(切妻部)は宮城県雄勝産の、南北中央のドーム部は同じく宮城県登米産の天然スレートによって全面葺き直された。屋内の天井は、戦争の終結により飛行機に使用されていたジュラルミンの入手が容易になったため、鉄骨で裏打ちしたジュラルミン板張りペイント仕上げとなった。

3. 創建時施工状況および現状躯体調査

東京駅丸の内本屋の構造に関する資料としては、レンガ試験報告や丸の内本屋基礎松杭の調査報告等がある。その中で当時鉄道院の工事監督主任であった金井彦三郎が

記した東京停車場建築工事報告¹⁾には、創建時の建物や施工状況等について詳細な記述がある。また、平成元年に「東京駅丸の内本屋構造検討委員会（委員長：岡田恒男・東京大学名誉教授）」が（財）日本建築防災協会に設けられた。この委員会の成果報告をもとに、その後の現地調査結果も合わせ、構造概要について記述する。

3.1 基礎構造

駅本屋付近は軟弱地盤であるが、敷地にあたる部分は周囲と比べ遥かに良好な地盤であった。図2に切妻部基礎の詳細を示す。切妻部の側壁および間仕切りの基礎は地盤面から3.8m下げ、末口212mm以上、長さ5.5~7.3mの松杭が約0.5m間隔に蒸気杭打ち機械で施工されている。杭に用いた松丸太は、青森大林区署から購入したものである。杭上には厚さ1.2mのコンクリート版を構築し、その上の鉄骨柱の建つ位置には1.2m角および0.7m角、厚さ各0.3mの花崗岩を二層積にして、各石材の間にはレンガを敷き詰めている。ドーム部は基礎形式も含め切妻部と同様の構造形式で、松杭を約0.6m間隔で打ち込んでいる。

3.2 鉄骨構造

3.2.1 軸部構造

一般部の軸組構造を図3に示す。柱材の多くは10インチのI形鋼である。一方、隅角部あるいは荷重の大きいところは図4に示す構成柱を使用している。柱脚部は地下室の有無にかかわらず全部同一の高さで基礎石上にボルトで定着している。これは、必要に応じ多少の加工を行えば地下室を造れる構造を意図したものであった。

3.2.2 屋根構造

一般部の屋根構造は図5(1)に示すように径間20m、勾配30度ものを中心間隔4m毎に並架し、構桁間は4條のL形鋼で連結し、これを母屋材に代用している。その他の母屋は全て木材を使用している。中央部帝室用の上部屋根は一般部より1.8m高く、かつ勾配を45度としている。その形状を図6(2)に示す。左右出入口八角広室の上部ドーム屋根は、八角形にして図6(3)のように径間20m、高さ6.9mの拱形構桁を八連架渡し、各拱ともその中心において互いに集合させている。

3.2.3 鉄骨の品質

各部構造に使用した鉄骨総計は3,135トンで、できる限り国内製造のものを使用する方針であった。しかし、I形鋼および溝形鋼のうち、柱材および水平繫材として使用量の多い10インチI形鋼や8インチ溝形鋼は八幡製鉄所で製作可能で

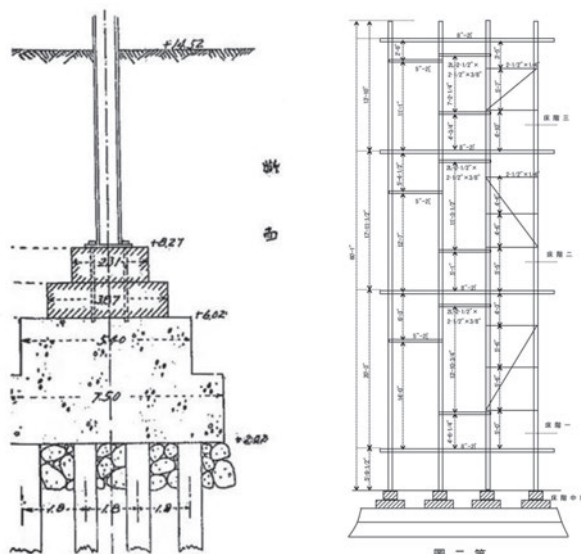


図2 切妻部基礎構造

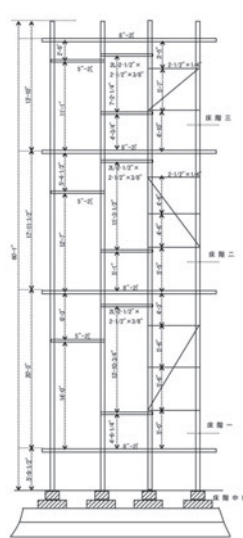


図3 壁軸組図

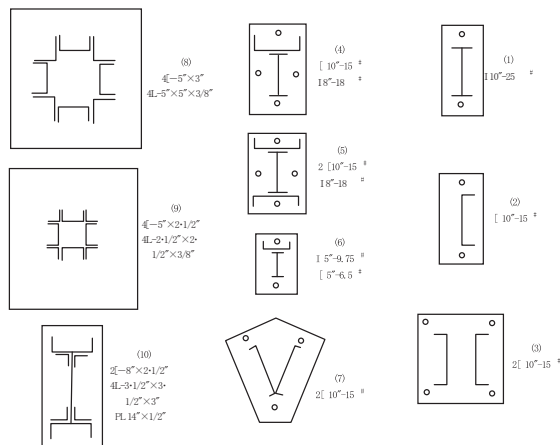


図3 第

図4 鉄骨柱断面図

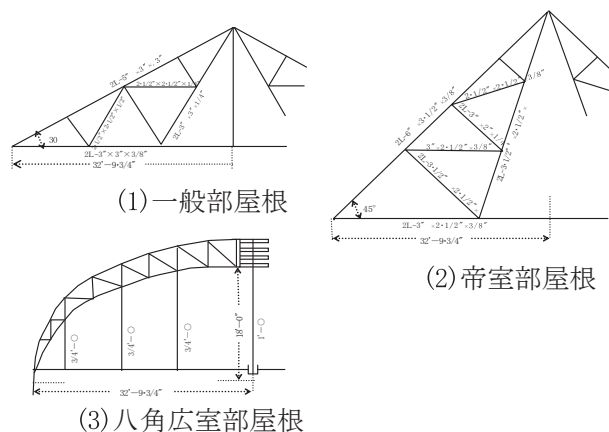


図5 屋根構桁

あったが、その断面形状が大きくなってしまふことから外国品を使用し、その他のI形鋼、溝形鋼およびL形鋼、平鉄、板鉄、丸鉄等は全て八幡製鉄所製造のものを使用した。国内品は56%、外国品は44%で、米国Carnegie社および英国Frodingham Iron and Steel社であった。

鉄骨の購入に際し、綴釘 (Rivet) 用丸鋼も含め、各々単位強度試験や曲げ試験の規定を定め、検査を行った。また、各種圧延鉄骨の断面積の許容値は2.5%以内に収める等、部材長さも含め管理した。これら外国から購入したものは、在日していた外国人の鉄道員嘱託技師による詳細な試験および検査に合格したもの、八幡製鉄所製品に対しては同所において試験に合格したものを使用した。

3.2.4 鉄骨の製作および建方

明治42年9月から石川島造船所で製作および組立てを行った。全建物を10工区に分割し、その南端部より順次1工区毎に製作終了に従い、工場内において仮組みした上で、明治43年8月1日より建方工事に着手した。

鉄骨建方のために1台の蒸気式起重機を製作した。この起重機は軌道上を移動し、7トンの重量を21mまで揚げ、旋回できる能力を持っていた。この方法により一般部および各塔の軸部は施工できたが、南北八角高塔の円形屋根は最高部が地盤上より39mもあり、この機械では施工できないため、この部分は別に建方の終わった柱に起重機をセットし、これにより施工を行った。これらの方法により、明治44年9月をもって全部の建方を終了した。鉄骨製作着手から満2年、現場建方開始より1年1ヶ月を要したに過ぎなかった。

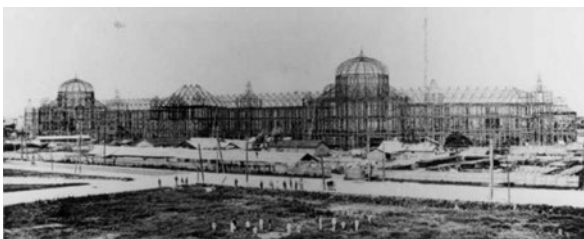


図6 鉄骨建方の様子²⁾

3.2.5 既存鉄骨の調査

空襲による火害を受けた鉄骨の再活用を図るために、北ドームのR階鉄骨より採取した鉄骨柱について、強度試験(引張試験)、溶接性の確認を行った。その結果、強度については創建時の単位強度498N/mm²とほぼ同等であり、SS材相当であることがわかった。溶接性の確認(成分試験、マクロ試験およびサルファプリント試験)結果から、当該の鉄骨は硫黄成分の含有率が高く、溶接加工を加える際にはラメラティアに配慮する必要があることがわかった。また、組織写真から、通常の圧延状態における鉄骨組織で構成されていること、鉄骨が劣化する程の高温(約750℃)にはさらされていないことがわかり、火害鉄骨は必要に応じ適宜補強材を加え、可能な限り保存、活用を図ることとした。

3.3 レンガ壁体および床構造

3.3.1 構造レンガ

レンガ壁が鉄骨に接する部分は、全てを切り欠き鉄骨に密接するように畳積させ、また水平繋ぎ鋼材付近の極端にレンガ半枚の厚さが薄い部分は、鋼線で緊結させたとの記述がある。現地調査によっても、壁内の鉄骨との間には密実に詰められた不定形のレンガが確認された。

3.3.2 化粧張付レンガ

当時としては大量の化粧張付レンガの使用で、レンガ工場には生産できる設備はあったが、十分な経験を有していなかったため、「検査に対し、合格して使用できたものは、製造総数の約4割に過ぎなかった」と記述がある。

3.3.3 レンガ片コンクリート

使用されているレンガ片は、レンガと鉄骨が接する部分で発生する廃材を骨材として使用している。現地調査によりドーム屋根裏内壁や窓枠上部に使用されたレンガ片コンクリートや鋼線が確認された。

3.3.4 床構造

床は石炭殻コンクリートで、厚さは1階で333.3mm、2、3階は181.8mm、屋根裏は151.5mmであった。石炭殻は大きき15.2mmから24.2mmまでのものを篩い、燃え残りの石灰屑を除いたものである。石炭殻コンクリートの調合は、セメント1、砂2.5、石炭殻5の割合である。現地調査から、壁と床の取り合いおよび外壁と内壁の取り合い部分の鉄骨仕口等が既往文献の記載と合致していることが明らかになった。

3.3.5 既存材料試験

レンガ片コンクリート、石炭殻コンクリートのコアを採取し、それぞれ圧縮強度試験と割裂引張強度試験を実施した。その結果、石炭殻コンクリートは品質上、継続使用に適さないとの判断より撤去し、床スラブは全面的に新設することとした。

壁面を構成するレンガ片コンクリートについては、文献記載の強度よりやや下回るものの、耐力的には問題ないレベルであった。経年75年(平成元年当時)のレンガ造建物としてはかなり良い状態といえ、構造体として継続使用可能と判断された。

4. 駅舎復原の構造設計

4.1 設計方針

「赤レンガ駅舎の恒久的保存活用」を保存計画のテーマとし、具体的な目標耐震性能を、中程度の地震ではレンガ

壁にひび割れを発生させず、想定される最大級の地震では、レンガ壁のひび割れ発生は許容するが、大きな補修をすることなく建物を使用できるように設定した。

既存レンガ内壁の保存量や3階復原部の架構形式の検討を行い、目標性能を確保するために必要な補強量を算出した。その結果、免震工法を採用した場合には、耐震補強がほとんど不要であるのに対して、従来の耐震補強工法の場合には、想定される内壁の概ね5割に対して耐震補強が必要であることがわかった。よって、安全性、活用自由度、保存精度が向上すること、ならびに総武地下函体への影響が少ないこと等から、免震工法を採用することにした。

設計にあたっては、上記の耐震目標性能を踏まえ、大地震時に駅舎の既存レンガ壁にひび割れを生じさせないこと、また想定以上の地震動として大地震時の1.5倍の地震動に対して免震構造が機能することを目標とした。

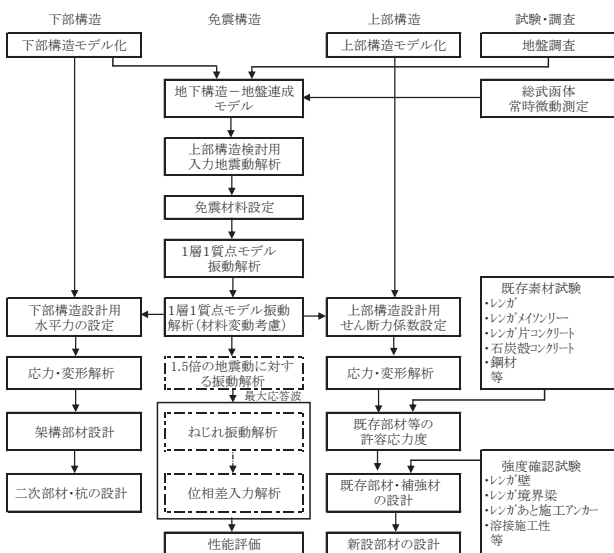


図7 保存・復原設計フロー

本建築物の基本的な設計フローを図7に示す。設計に先立ち行った現建築物の構造性能確認のための試験、調査とともに、着工後に現地において鉄骨造レンガ壁の面内、面外曲げ試験、あと施工アンカーせん断試験や溶接性試験などを行い、設計採用値の妥当性を確認した。

4.2 免震部材の配置

本駅舎では隣接する構造物との水平クリアランスが小さいという制約条件があり、免震工法を採用する場合、上部構造の応答増幅を抑えながら免震層の応答水平変形を小さく制御できるシステムとする必要があった。このため、免震層の減衰力を大きくするため鉛ブラグ入り積層ゴムの他にオイルダンパーを多用し、地震時の水平変形を制御した。免震システムの性能への影響因子(免震ゴムの剛性、鉛ダンパーおよびオイルダンパーの減衰力)をパラメーターとして、相対変

位を抑制しながら建築物の応答加速度を小さくする最適組合せを検討し、積層ゴムやオイルダンパーの性能、配置を決定した。

4.3 応答解析結果

158基のオイルダンパーを使用することにより、大地震時に免震層の変形を13.7cmに抑えることが可能となった。1～4階の応答加速度も 200cm/s^2 程度で人や収容物への影響は少ないが、鉄骨造のドーム部は最大 900cm/s^2 となるため、ドーム天井等仕上げ材の取り付けには十分な配慮をしている。既存レンガ部の層間変形角も $1/1600$ 以下であり、レンガ壁の想定ひび割れ発生変形角($1/1500$)以内となっている。また、大地震時の1.5倍の地震動時においても、免震層の変形量は21.7cm、上部構造の層間変形角は $1/1500$ 以内となっている。

また、不確定要素への対策を含めて、大地震時の応答変形量13.7cm(ばらつきを考慮した場合)に対して23cmの免震層クリアランスを設定した。改札口等の不特定多数の人が利用する部分に設置するエキスパンションジョイントは、地震時の挙動により歩行者の事故が起きにくい構造のものを使用している。

4.4 保存復原部の設計

戦災により撤去された3階架構や尖塔類などの復原架構は、鉄骨鉄筋コンクリート架構や鉄筋コンクリート架構として耐力および剛性を確保した。復原架構の耐震要素は、既存レンガ架構に過度な負担をかけないように分散して配置し、既存駅舎と復原部の接合部は力が適切に伝達されるように既存内蔵鉄骨などを有効に利用した。既存の鉄骨内蔵レンガ壁はその耐力、変形性能を評価した上で構造体として利用した。ドーム部の既存レンガ壁は設計用地震力に対する架構解析を行い、応力集中等リスクの比較的高い箇所については、壁の上部、下部に鉄筋コンクリート造の梁を配し、PC鋼より線を用いて圧縮力(付加応力度 0.3N/mm^2)を導入し、ひび割れ耐力を向上させている。既存の石炭殻コンクリート床を全面撤去して新設したコンクリート床は、周辺レンガ壁と新設添え梁を設けて接続して面内剛性を確保した。

5. 現地実大試験

設計上の仮定の妥当性および構造体の実耐力の確認を目的として、既存のレンガ壁を利用して現位置での実大載荷試験を実施した。試験は実施工方法、実プロポーションに極力あわせたものとした。終局耐力を得るために破壊レベルまでの載荷を行うことから、撤去する予定のレンガ壁を選定した。

5.1 面外方向耐力試験

内蔵鉄骨柱を1本含んだ幅1.0m、高さ2.5mの2枚積レンガ壁を周囲の壁から縁を切り、図8のように面外方向へ加力した。設計上は面外への抵抗は主として内蔵鉄骨が負担するものとしている。

基礎近傍での内蔵鉄骨柱のひずみ量を計測することにより、内蔵鉄骨の負担量と実際の抵抗力の違いを評価した。内蔵鉄骨とレンガ壁の合成曲げ耐力は、鉄骨単体と比べて約1.5倍となることが確認された。

5.2 面内方向耐力試験

耐震壁であるレンガ壁の面内に負担可能な最大せん断耐力と、内蔵鉄骨の引張抵抗にて負担される最大曲げ耐力を確認するために、図9に示す試験体(内蔵鉄骨の引抜最大耐力を確認するために鉄筋コンクリートの補強枠により圧縮側を一部補強)により加力試験を行った。せん断ひび割れ耐力は、素材レベルの試験(目地せん断耐力)で想定した値より大きく、 $0.33\text{N}/\text{mm}^2$ 程度が得られた。このせん断抵抗力には内蔵鉄骨柱の補強効果も含まれ、より実態に近いものと考えられる。

負担せん断力に相当した脚部の曲げモーメントについては、内蔵鉄骨(縦材)のひずみ量を計測することにより、引張負担材として有効に寄与していることが確認された。実施工においても、新設する基礎梁を同様の埋め込み形式とすることで、既存、新設構造体間の接合方法において、既存の耐震性能が確保できるようにした。

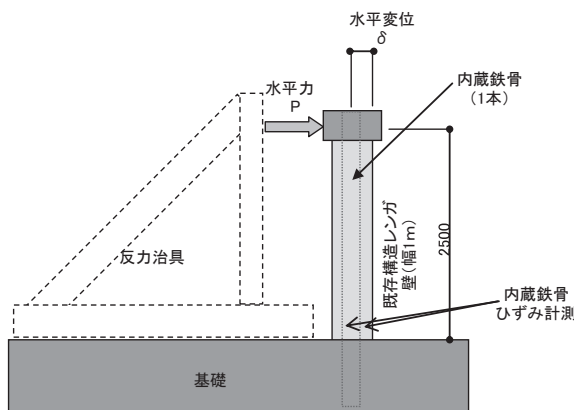


図8 構造用レンガ壁面外方向耐力試験体

6. 施工

既存地上部架構を復原しながら新設地下躯体を構築し、境界に免震部材を設置するため、地上部を仮受け杭で支えながら工事を実施した。工法手順を図10に示す。

Step1: 本設杭および仮設兼用杭の打設

Step2: レンガ壁脚部に鉄筋コンクリート造の縦梁とつなぎ梁を打設

Step3: ジャッキアップにより建築物自重を構真柱と仮設支柱に受け替え

Step4: 一次掘削後に既存基礎を撤去、さらに逆打ち工法で地下躯体を構築

Step5: 地下躯体構築後に免震支承上部に設置したフラットジャッキ(図11)で本設架構に荷重移動し、仮設支柱下段(B2階部)を撤去

Step6: 免震層の水平拘束に利用している仮設支柱を溶断して免震化

仮設支柱から地下躯体に鉛直荷重を移行するために、アイソレータ上のフラットジャッキにモルタル注入によるプレロード導入を行った。その際、設定加圧量(設計軸力より算出)に対して2割程度の誤差以内での加圧を目標として作業を進めた。同時に、レンガ躯体にひび割れが発生しないよう、面内変形角が目標値 $1/2500$ (管理限界値 $1/2000$)を超えないように計測管理を行いながら実施した。プレロード導入後、上部構造とアイソレータを接合するために、せん断伝達プレートを溶接し、隙間にグラウトを充填した。

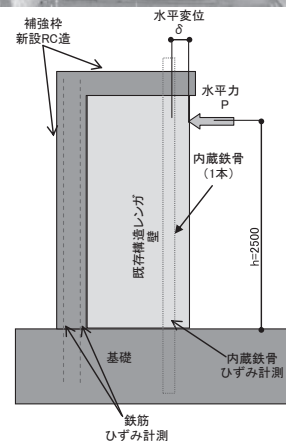


図9 構造用レンガ壁面内方向耐力試験体

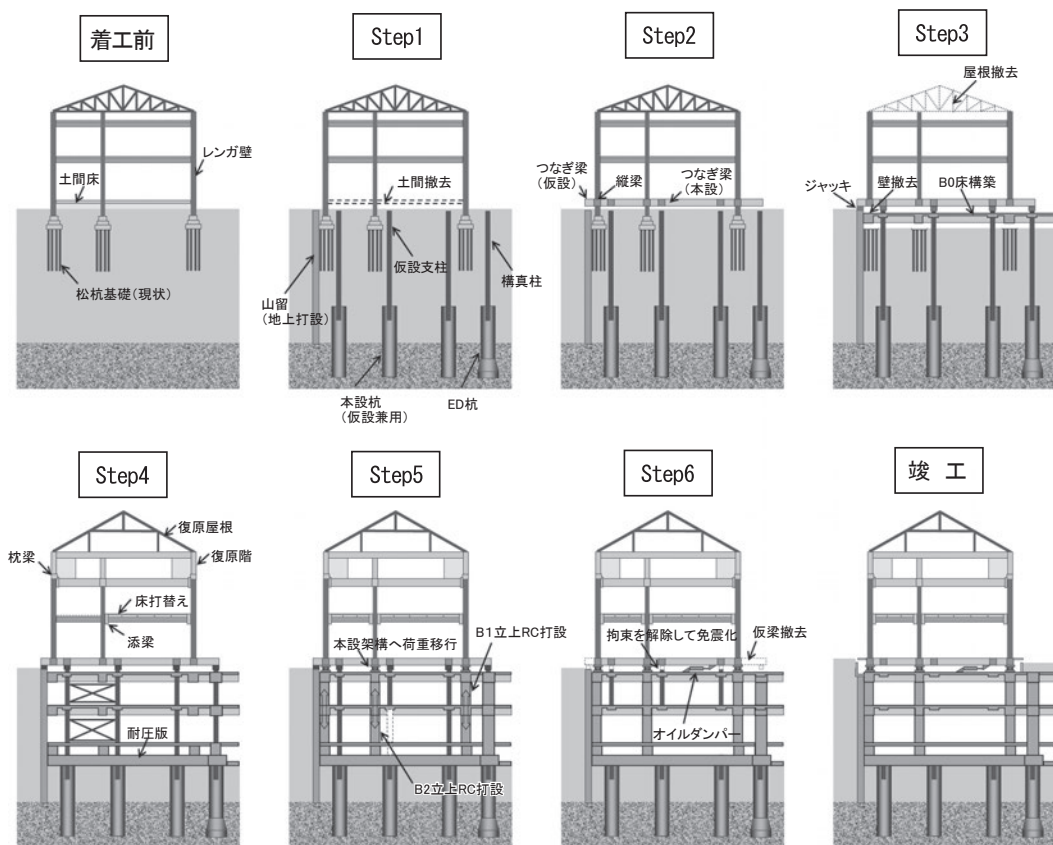


図10 施工ステップ

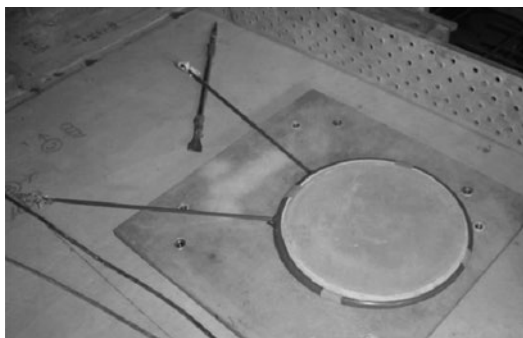


図11 フラットジャッキ

仮受け杭から352基の免震アイソレータへの受替は、1日の施工量をおよそ10基とし、約3ヶ月を要した。こうして鉛直荷重を全面移行した後、水平拘束を解除することにより、2011年9月に免震化が完了した。その後、残った仮設支柱、仮受け梁の切断、撤去を行い、地下の内装、設備工事等仕上げ工程に進んだ。

工事中、北、中央、南改札口や、総武中央階段を旅客が利用すること、また本受替までの数年間、仮受け状態が続くことから、仮受け部材(1階床梁、仮設支柱および地下躯体)については、仮受け時鉛直応力に対して長期許容応力度以下として設計した。

東北地方太平洋沖地震の際は、地上部がまさに全域に亘り仮受け状態であったが、仮受け部材を地震時に短期許

容応力度以下になるように設計しておいたことから、損傷することなく工事を継続することができた。

7. おわりに

東京駅丸の内駅舎の保存・復原においては、歴史的建築物の「本物の価値」(オーセンティシティ)を守りながらも、使い続けられる文化財として、その「安全性」を確実に担保することが要求条件であった。また、本駅舎における最適な構造補強デザインとは、既存建築物の構造特性を正確に把握する中で、歴史的建築物への最小の手の加え方を模索し、赤レンガの壁を単に表層として残すのではなく、構造体として「生かして」残していくことであった。東京駅丸の内駅舎は「鉄骨レンガ造」という日本における欧風近代建築初期の最先端建築技術に、「免震構造」という現代の技術を付加しつつ、創建時の姿に復原された。

註)「現存する建造物について、後世の修理で改造された部分を原型に戻す」の意で、東日本旅客鉄道(株)は「復原」を用いている。

参考文献

- 1) 金井彦三郎: 土木学会誌、東京停車場建築工事報告、第1巻第1号、1915年
- 2) 鐵道院東京改良事務所: 記念寫真帖、1914年