

東京国際空港国際線旅客ターミナルビル 建設工事における大規模屋根スライド工法

領 木 紀 夫・水 谷 亮

東京国際空港国際線の旅客ターミナルビル建設プロジェクトでは、「首都圏の空の玄関口」に相応しい「快適都市空港」の創出を基本方針として、広く大きな明るい空間を確保すべく、出発ロビー階には幅 92 m、長さ 162 m の大空間が計画された。

この大空間を覆う大屋根は、柱スパン 69 m、トラス間スパン 18 m のトラス部材を 10 個連結した大架構立体鉄骨トラスで構成されており、建設工事においては数々の与条件の中、如何に安全かつ合理的にこの大屋根トラス鉄骨の建方を行うかが最重要課題であった。

本報では、大屋根トラス鉄骨建方の工法として選定したスライド工法について報告する。

キーワード：大空間、スライド、センターホールジャッキ、スライドジャッキ、三次元計測

1. はじめに

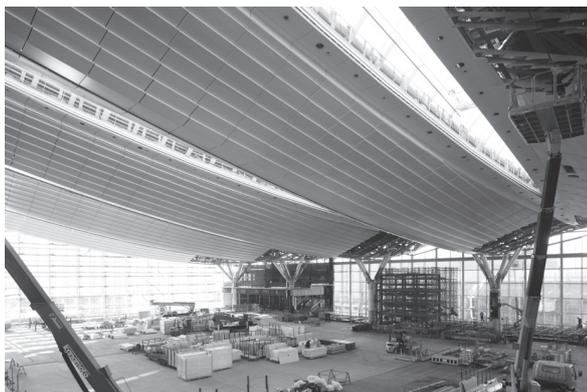
ターミナルビルを覆う大屋根は、飛行機の翼を模したような弓形であり、水下側は 3 階躯体、水上側は 5

階躯体から立ち上がった柱で支持される。

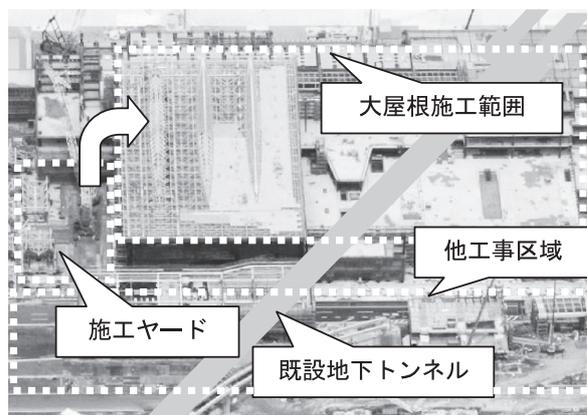
大屋根工事は 3 階及び 5 階の躯体完了後に順次施工するのが合理的である。しかし、施工用クレーンの配置には数々の制約があり、大型クレーンによる外周部からの施工は不可と判断された。工法選定上最も大きな制約条件は、ターミナルビルのほぼ中央を私鉄の既設地下トンネルが縦断しており、この上部には重機が設置できないというものであった。また、他の工事区域に囲まれているため、ターミナルビル外周部からのアプローチも制限されていた。



写真—1 施工中のターミナルビル全景



写真—2 出発ロビー階の大空間施工中状況



写真—3 大屋根施工時の制約条件

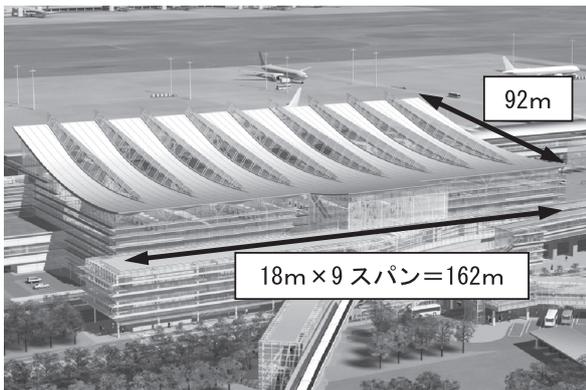
施工方法の検討にあたっては、スライド工法のほかに、1 階躯体上にクローラークレーンを配置しベントで大屋根を支持し建て方を行う工法案、同様にクレーンを配置し 1 階躯体上に大屋根すべてを仮組みしリフト

アップする二つの工法案が提案された。比較検討の結果、クレーンを躯体上に搭載し地上躯体工事を後施工とする両工法は、工期と躯体補強にかかるコストの面で不利と判断し、大屋根トラスを妻側1カ所で組立て、順次組立て送り出す工法を採用することに決定した。

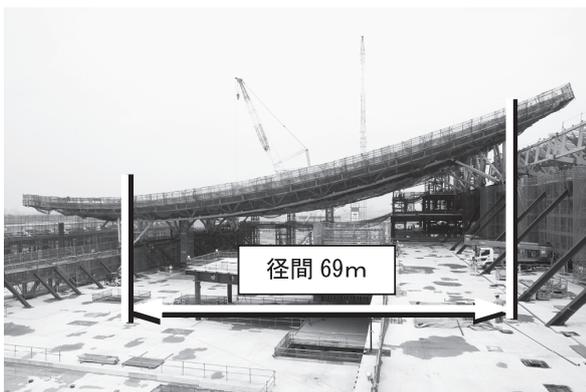
2. 大屋根鉄骨建方・スライド工法の概要

(1) 大屋根鉄骨トラス形状 (図一1, 写真一4)

トラス本体は上弦材2本と下弦材1本を組み合わせた構造で、トラス断面は上辺9m、高さが5.7mから1.8mのキール形である。長さは基準トラスで92m、最大で114m。トラスを支える柱は水下側と水上側の2点で支持され、径間69mである。キール形のトラスが18mピッチに計10本配置され、およそ18,000 m²の屋根を形成している。



図一1 大屋根概要図



写真一4 屋根トラス

基準トラス1本は約300tで、およそ290ピースの主材で構成されている。それぞれのトラスは4.5mの繋ぎ梁で連結され、連結部中央部に山形のトップライトカーテンウォールが配置される。これら繋ぎ梁鉄骨と仕上げ材を含めた全体では1スパンおよそ550t、大屋根全体では約5,000tとなる。

(2) スライド工法の計画概要

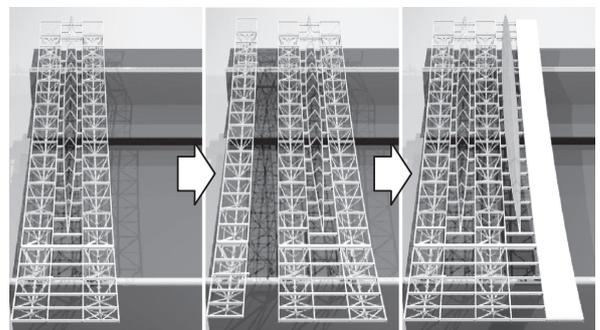
建物平面端部には建方用に500tと180tのクローラクレーンを配置した(写真一5)。トラスは吊上げ能力を勘案して構造上問題のない箇所を7分割し、それぞれを決められた場所で地組みする計画とした。地組ヤードには100tクローラクレーンを配置し、建方と地組みを同時進行させた。



写真一5 クレーン配置と建方状況

仮支柱であるベント柱の上に地組みされた鉄骨を吊上げ、本締め溶接により一体化した後にジャッキダウンを行い、長さ92m、約300tの大スパン架構が完成する。

その後、PC鋼より線とジャッキを使用して、仮設レールの上をスライドさせ、18mのスパンを移動させる。隣のスパンへの鉄骨スライドが完了したら、次のスパンの屋根トラス鉄骨を同様に組み立ててジャッキダウンの後、先行しているトラスとトップライトの鉄骨でジョイントする。続いてジョイントされた屋根鉄骨全体をスライドさせる(図一2)。



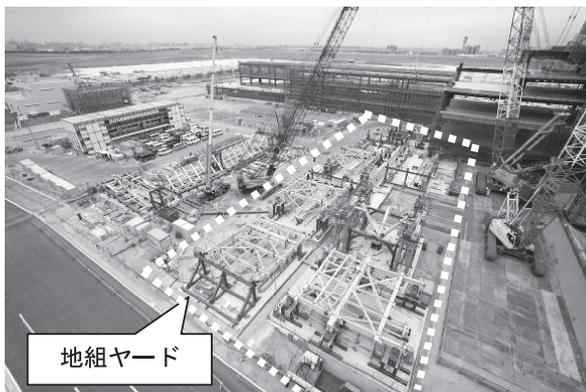
図一2 大屋根施工フロー

この作業を10日サイクルで繰り返す。3スパン目で屋根の木毛板の揚重、トップライトカーテンウォールユニット取り付けを行い、4スパン目以降でステンレス屋根葺き作業をサイクルで行う計画とした。

3. 大屋根鉄骨建方

(1) 鉄骨の地組み

1本のキール形トラスを7分割して、各々決められたヤードで地組みし、建方を行った。トラスとトラス支持柱はそれぞれ別々に地組みを行い、地組ヤードでジョイントした後に建方を行った（写真—6）。



写真—6 地組ヤード状況

トラス間の山形トップライト鉄骨は、稜線が一定勾配となっており、足元は弓なりの屋根上弦材と取り合うため、たわみを考慮した稜線が水平になるような架台を設置し、建方作業の単純化と精度確保を図った。

(2) 鉄骨建方

7分割したトラス鉄骨は、柱部分のトラスから順次連結し、トラス本体の一体化を行う。トラス鉄骨は、鉄骨自重及び屋根仕上げ材、天井仕上げ材の重量による各接点のたわみ量を解析により求め、製作ムクリを設けた。ジャッキダウンまでに仕口の本締め溶接やUT検査を完了させて先行トラスと一部の梁鉄骨との連結を実施した（写真—7）。



写真—7 トラス鉄骨建方

(3) ジャッキダウン

ジャッキダウンはトラス鉄骨を各ベント上で油圧ジャッキに受け替え、段階的にジャッキを縮めて荷重を抜いていく手法とした。ジャッキダウン中のたわみ量や平面変形、上弦材のレベルの管理が非常に重要となるため、総合司令室を設け、ジャッキダウン作業中のトラスを自動追尾トータルステーションによる自動測量システムで計測管理し、すべての作業員に指示が出せる体制とした。

監視画面には、トラスの挙動を連続的に表示し、トラスのたわみ、捩れ、水平移動、限界値までの余裕度などが確認できる仕様とした。たわみ測定の結果は、解析たわみ量の60～70%でほぼ予測どおりであった。

4. スライド設備

(1) 柱脚支持部スライディングジャッキ

キール形トラス1本の支持点反力は水側で310tf (3,038 kN)、水上側で240tf (2,352 kN)であるため、1カ所を200tf (1,960 kN)スライディングジャッキ2台で支持し、軌条梁と柱の隙間を10mm空けてスライドできる機構とした。なお、スライディングジャッキ下部にはテフロン板が取付けられており、軌条梁上を滑る構造となっている（写真—8）。



写真—8 スライディングジャッキ

本設梁は柱取り合い部が拡幅補強の形状となっており、柱径も最大1,100mmと大きいため、スライディングジャッキのガイドには柱を越えるときに干渉しないよう、跳ね上げ機構を追加した。また、このガイド跳ね上げ機構にはスラストずれの修正機能も持たせた。

(2) 牽引装置

鉄骨屋根全体の最終スライド質量がおよそ 5,000 t になるため、各支点をすべて牽引することで1支点当たりの牽引力を抑えるようにした。すべての柱脚部に2本のφ 28.6 mm PC 鋼より線をセットし、2スパン先の36 m 離れた柱を反力として2台の50 tf (490 kN) センターホールジャッキの伸縮動作でスライドさせた(写真-9, 10)。

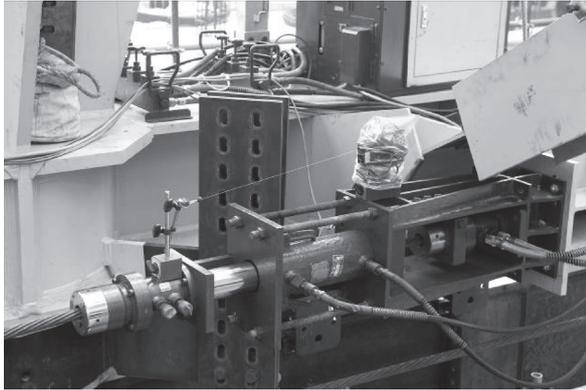


写真-9 センターホールジャッキ



写真-10 牽引装置 (尻手)

ジャッキストロークによる1回の移動量は180 mm で、100ステップで1スパンのスライドとなる。総合司令室では、それぞれのジャッキのストロークと荷重状態を集中管理するほか、全体移動量を各通りに設置したリニアエンコーダで計測した値で管理するとともに、柱脚部の移動量に差が出ないように制御できるシステムを用いた。

また、縦に連結したジャッキの荷重差により柱脚つなぎ材が座屈すると、柱脚間隔保持ができなくなり屋根の崩壊につながるため、左右の移動量同調制御に加えて、繋ぎ材座屈荷重を考慮した荷重バランス管理を行った。

(3) スライド時のトラス支持拘束等構造仮設

トラス支持材取り合いはピン接合となっているためスライド時に柱脚を解放すると構造的に成立せず、また、柱脚ブロック自体にも転倒モーメントが生じる。そのため、各部の拘束材を設置した。さらに第1回目のスライドは単独トラスとなり転倒が懸念されるため、転倒防止拘束材を配置して安定性を高めた(写真-11)。

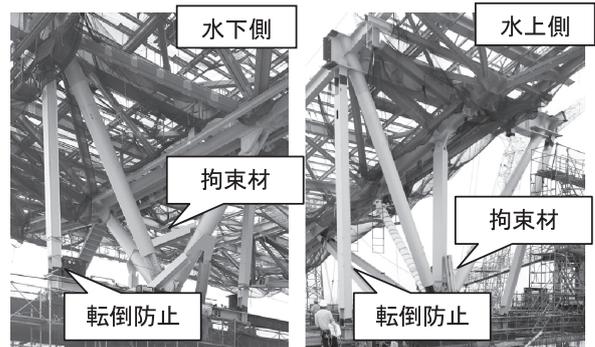


写真-11 トラス支持拘束材

なお、地震対策として、各スライド終了時には本設のオイルダンパを機能させることとした。したがって、スライド開始から係留までは不静定な構造とならないようオイルダンパを拘束した。

(4) 柱頭処理

本設柱はCFT構造であるため、柱最頂部のダイヤフラムには空気抜き穴と中央部に噴出し用の開口が必要である。スライド時のジャッキの引っ掛けや開口によるダイヤフラムの強度低下が懸念されたため、開口を150 mm と小さくし、同厚の鋼板で取外し可能な蓋をした(写真-12)。

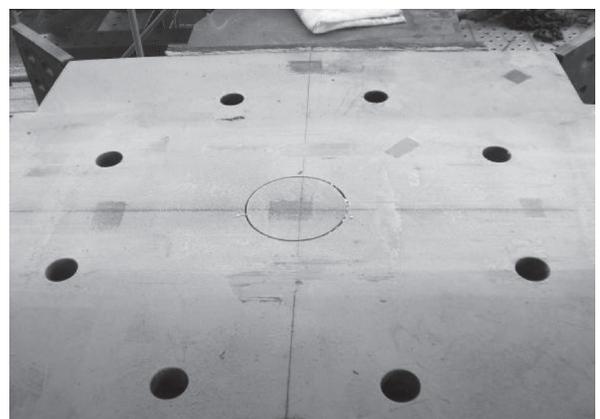


写真-12 柱頭処理

(5) スライド位置・変形自動測量

ジャッキ制御システムでトラス柱脚部の荷重や移動量を管理することはできるが、屋根トラス全体の挙動は把握できない。屋根全体の過大な捩れや平行四辺形の変形が生じていないことを管理するため、自動追尾トータルステーションによる自動測量システムを採用した。先頭部トラスと最後部トラスの上弦材にプリズムを設置し、スライド中の屋根をリアルタイムで管理した(図-3)。

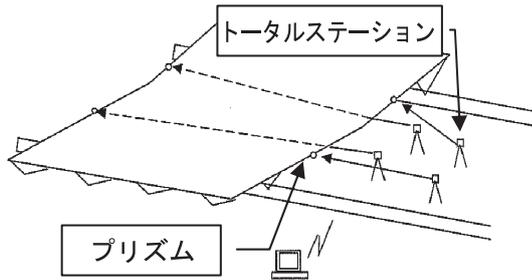


図-3 スライド計測管理概念図

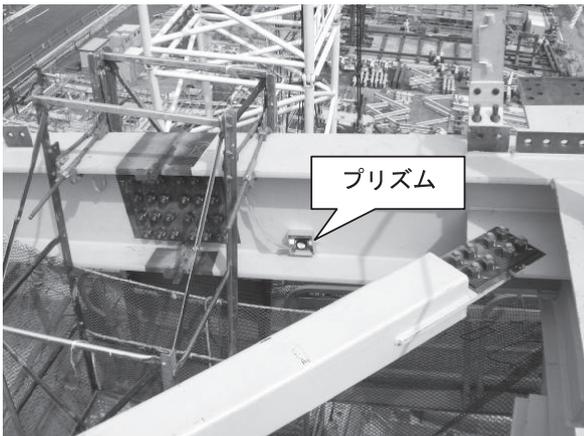


写真-13 プリズム設置状況

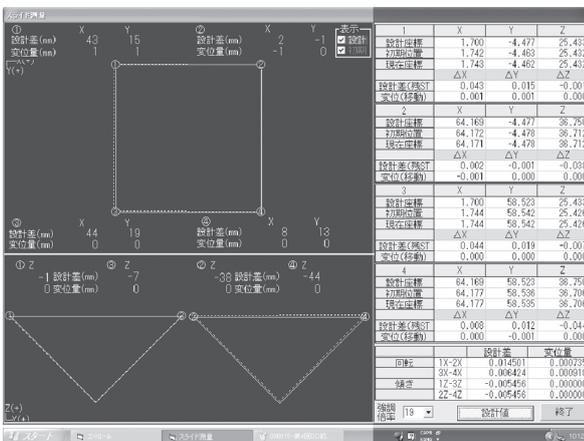


写真-14 スライド監視画面

監視画面右側にはプリズムを設置した座標の初期値、リアルタイム計測値、変化量、設計値との差などを表示させた。また、屋根の平面形状が大きく変形していないことをモデルで確認できるようにするとともに、鉛直方向の変位をモデル化して表示し、初期値に対する変位量を数値化した。特にこれらは、柱を乗り越える際の鉛直方向の変位による過荷重の回避などに有効であった(写真-13, 14)。

5. スライド工法適用の効果

ターミナルビルの大屋根鉄骨は、高いレベルの構造的な性能が要求されており、鉄骨の建方精度が品質に大きく影響する。すべてのトラスの組立てを同じ場所で繰り返す作業としたため作業員の習熟度が向上し、地組み段階での組立誤差は±2mm以下まで精度を上げることができた。建方やスライド工事においても同様に精度が高められ、工程を厳守しつつ、設計要求品質を十分満足する結果となった。

6. おわりに

スライド工法によって総重量5,000t、平面面積18,000m²という非常に大規模かつ変形の大きな大屋根を、躯体に大きなダメ工事を残すことなく短工期で施工を完了させることができた。今後は、今回の実績や工夫に加え、予想以上に時間を要したスライド後の柱芯固定位置での微調整作業を見直し、同種工事に水平展開していく所存である。

JICMA

【参考文献】

- 1) 領木, 水谷, 和田: 空港ターミナルビルにおける大規模屋根スライド工法, 平成20年度 建設施工と建設機械シンポジウム論文集 H20.11

【筆者紹介】



領木 紀夫 (りょうき のりお)
鹿島建設(株)
東京建築支店 機材部
次長



水谷 亮 (みずたに りょう)
鹿島建設(株)
機材部
次長