

19. ウェイクアップ工法の開発と実施 ～壁面鉄骨の安全・高精度建方技術～

株竹中工務店：西村 博之、竹内 満、

*森田 将史

1. はじめに

国立国会図書館関西館（仮称）建築工事において、外装ガラスカーテンウォールの下地となる全幅 127.5m、全高 28.2m、総重量 500t の格子状鉄骨を 2 ブロックに分け、地上に寝かした状態で組立てた後、鉄骨の一端に取付けたピン支承を回転軸として油圧ジャッキで扇状に引起し、本体鉄骨に取付ける新工法を採用した。

多くの移動架構工法では架構の移動中における力学的変化が僅かであるのに対し、本工法では振り子を逆さに立てるように、鉄骨が起き上がるにつれて不安定な状態に近づいていく建方となる。また、本来立った状態で設計された構造体を寝かせた状態から起こすため、設計上考慮されていない応力状態を与えることになり、構造体への補強が必要になると考えられる。

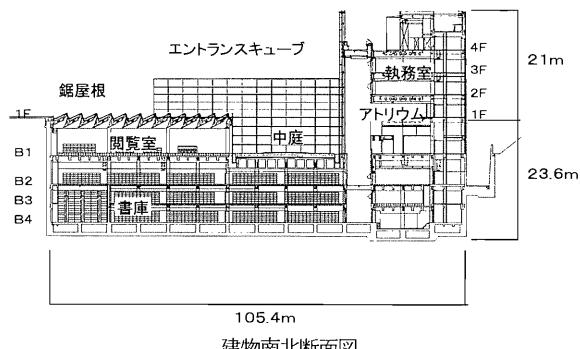
このように、一見矛盾しているとも言える施工法を採用した理由は、設計仕様を満足させる組立精度の確保と従来工法では得られない生産性の飛躍的向上のためである。

当該工事における鉄骨は、地上 20.7m の吹き抜け空間の前面に位置しており、細い柱材を格子状に組合せたフィーレンディール構造体で、鉄骨そのものを仕上材とするため、主に PL-60×120 の無垢鉄骨 3600 ピースを ±2 mm の精度で組み立て、溶接部全てをグラインダーで直角に仕上げる仕様となっている。

この仕様を満足し、かつ施工効率を上げるために、鉄骨組み立て作業を、部材の迅速な揚重・運搬作業が実現でき、安全で安定した作業台・作業床が構築できる地上で行い、重量作業、高所作業を極力少なくすることが肝要と考えた。これを具現化するために、前述した本工法における構造的課題を施工条件、構造体仕様に合致した建方システムの開発によって対処し、安全で高精度・高効率の施工を実現した。以下にその実施結果について報告する。

工事概要

建物名称	国立国会図書館関西館（仮称）
所在地	京都府相楽郡精華町精華台
発注者	国土交通省近畿地方整備局
設計者	陶器二三雄建築研究所
監理者	国土交通省近畿地方整備局
敷地面積	10,500m ²
延床面積	59,500m ²
階 数	地上 4 階 地下 4 階 塔屋 1 階
構 造	地上 S 造 地下 S R C 造
軒 高	GL+27.95m (1FL+21.0m)
掘削深さ	1FL-23.6m
工 期	平成10年10月～平成14年3月予定
施 工 者	竹中・住友・五洋特定建設工事共同企業体
別途施工	電力・通信・空調・衛生・EV他



建物南北断面図

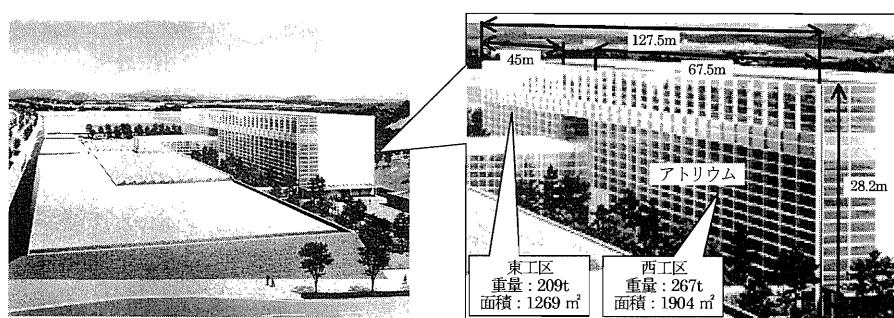


図-1 工事概要、建物完成パースおよび当該工事範囲

2. 本論

2-1 施工計画

北側アトリウムのCW下地鉄骨は、写真-1に示す無垢鉄骨を図-2のように1グリッド高さ1.2~1.8m、幅3.75mの格子状に組立てたもので、原設計では表-1のとおり、3600ピースの部材を、5,000ヶ所溶接接合した後、グラインダーで直角に仕上げる仕様であった。総重量は、500t、組立精度は±2mmである。

本体鉄骨との接合は、図-3に示すように下地鉄骨自重の8割を4階仕口部で、残り2割を最下部(B1F)跳ね出し梁で支持する設計となつており、溶接接合となる壁つなぎ材(1柱当たり7ヶ所)で風荷重を負担する。

この施工条件で①安全性・②組立精度・③工期の確保を図るために、従来工法では倒壊防止策、鉄骨位置決め精度確保策や安全な作業床の構築等に対して様々な仮設材を必要とし、高所における資材の揚重・運搬が組み立て作業の多くを占めることになるため、施工法検討を行った結果、図-4に示す部材のユニット化・地組みによる施工を採用した。鉄骨形状が単純なことから、極力工場にてユニット化し、作業所での組立部材数を低減すること。また作業所での組立作業を、迅速な揚重・運搬ができ、安定した作業台・作業床を構築できる地上で行うこと、作業の効率化・精度確保を図ると同時に、前工程である本体鉄骨工事の完了を待たずに施工を開始すること。さらに、工程上クリティカルとなるグラインダー仕上げ作業のうち、極めて時間と労力を要する溶接部下端研削作業の機械化を図ることが上記①~③を実現する上で肝要と考えた。

工場でのユニット化に関しては、工場内生産設備と輸送上の制限から写真-2に示すように形状・寸法を決定した。ユニット化により作業所で組み立てる部材数は3600ピースから711ピースとなり80%低減できる。

作業所での地組み形状・寸法は、地組みヤードの大きさと建方方法によって制限される。地組みヤードとしては、アトリウムの前面にあたる東西中庭が適当と考えた。建方方法としては、鉄骨・軸体の強度面、地組時の

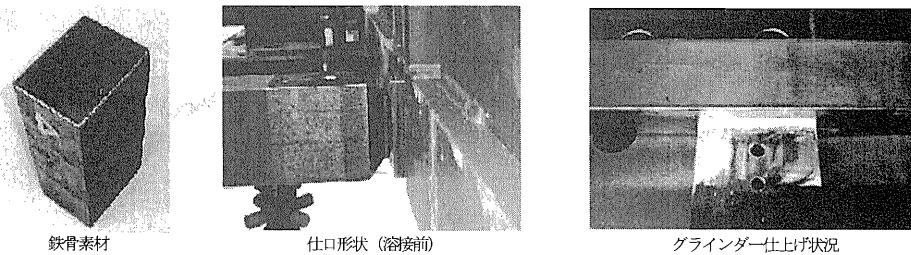


写真-1 鉄骨素材と仕口形状および仕上状況

表-1 施工条件

項目	内容
主材	PL-60×120 (SN400B、56.5 kg/m) PL-75×100 (SN400B、58.9 kg/m)
部材長さ	柱材：6m～8m 梁材：3.75m
全体寸法	幅127.5m、高さ28.2m、奥行き0.66m
総重量	500 t
組立精度	±2mm
部材数	3600ピース
溶接箇所数	5,000ヶ所
仕上箇所数	28,000ヶ所

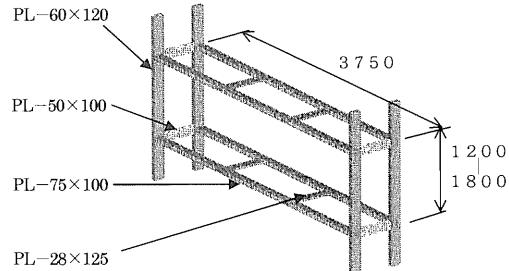


図-2 CW下地鉄骨構造概要

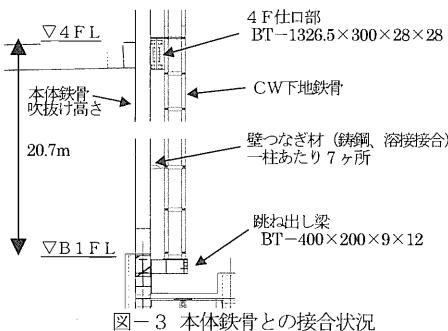


図-3 本体鉄骨との接合状況

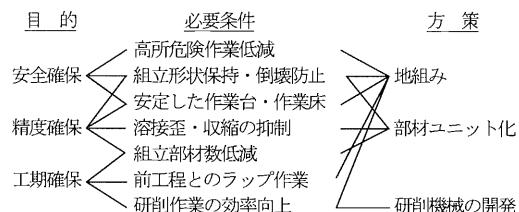


図-4 施工方法の検討

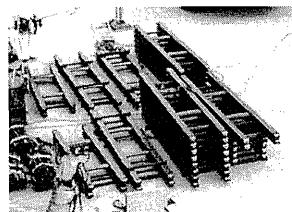
精度確保と施工性、地組みヤードの有効利用、仮設費用などの点から、東西中庭で地組みした鉄骨を、柱脚部に設けたピン機構を回転軸として油圧ジャッキにて扇状に引き起こす“ウェイクアップ工法”(図-5)を採用した。

この工法は日本で初めての試みであり、実現化に際しては、構造体の強度検討・補強方法、柱脚部ピン機構の組立精度と機能的・強度的信頼性、円弧状建方に対応した建方設備と管理方法、本体鉄骨との接合手順・機構などの検討・具体化が必要であった。

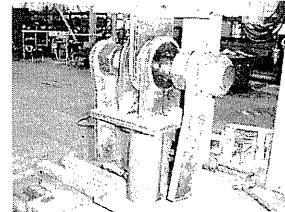
そこで、故障解析(FMEA)手法を用いてリスクアセスメント的検討を行い、写真-3に示す、確認施工による検証を実施し、信頼性・安全性を確認した上で施工を開始した。



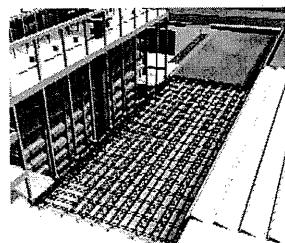
柱材 (L=6m, 7m, 7.5m, 8m)
写真-2 工場での部材ユニット化状況



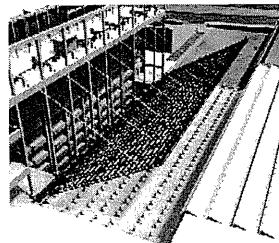
梁材 (L=3.7m, W=0.66)



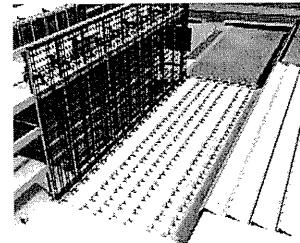
回転軸角度確認
写真-3 確認施工状況



地組み



建方 (ウェイクアップ)



定着 (本体鉄骨との接合)

図-5 ウェイクアップ工法概要図

2-2 地組み工事

鉄骨全体を図-6に示すように東西2ブロックに分け、地組み作業を実施した。工場にて寸法精度±1mmでユニット化した部材を作業所にて写真-4に示す高さ1.2mのH鋼架台上に油圧クレーンで据付けた。部材接合部は写真-5に示すように、部材相互に±0.5mmの位置精度で加工されたφ14の孔にスプリングとピンを挿入することで位置決め・仮支持する機構としている。地組み部材の鉛直度・平行度・水平度および柱材の出入りはトランシットと鋼製巻尺で管理した。計測精度を確保するため、トランシットは測角精度1秒のものを採用し、さらに、基本墨の管理を徹底するため、敷地外に設けた基準点から三次元測量器を使って各通りの基準ポイントを毎日確認した上で作業を実施した。工程上、クリティカルとなるグラインダー仕上げ作業には、開発した研削機械(写真-4)を導入し、溶接部下端研削作業の効率向上を図った。溶接・グラインダー仕上げ作業とも写真-4に示すように全て地上もしくは高さ60cmの足場上で行ない、大型仮設テントの設置による作業の全天候化(写真-6)の効果もあって、表-5、6に示す工程で安全に作業を完了した。本工事の他部位(エントランスキューブ)で同様の鉄骨を在来工法で施工した工数と比較した結果、溶接作業で1.9倍、仕上げ作業で1.6倍の施工効率向上が図れた。

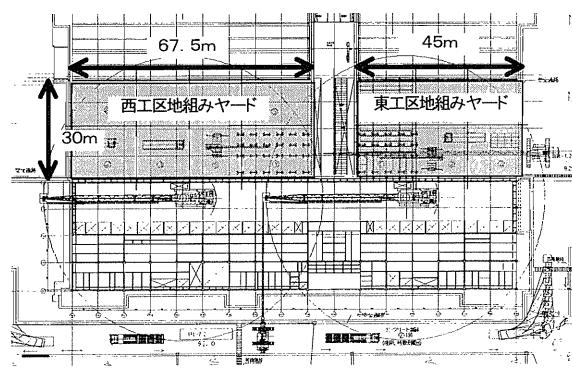


図-6 鉄骨地組みヤード

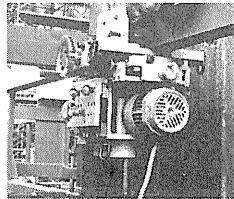
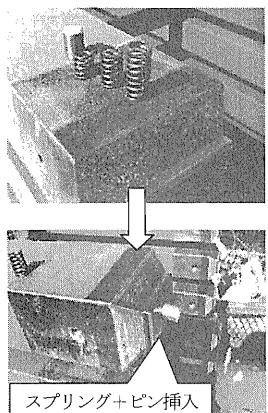
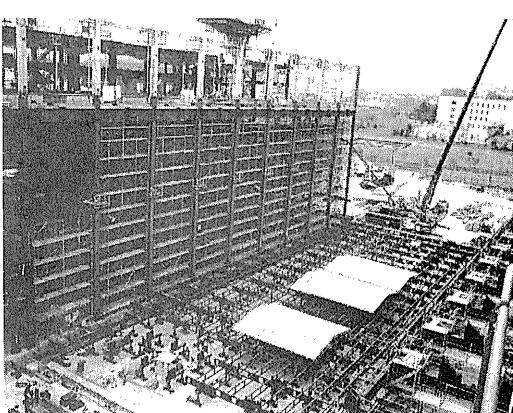
写真-4 地組み作業状況
部材据付け状況写真-4 地組み作業状況
開発した研削機械写真-4 地組み作業状況
溶接・仕上げ作業状況写真-5 部材接合機構
スプリング+ピン挿入

写真-6 西工区地組み状況全景

表-5 地組み施工結果

表-5 地組み施工結果

項目	内容	
	西工区	東工区
地組期間	1.5ヶ月	1ヶ月
幅	67.5m	幅45m
全体寸法	高さ 28.2m 奥行き 0.66m	高さ 28.2m 奥行き 0.66m
総重量	267t	209t
組立精度	±2mm	±2mm
部材数	柱: 78ピース 梁: 356ピース	柱: 63ピース 梁: 214ピース
溶接箇所数	1495ヶ所	955ヶ所
溶接工数	延べ112人工 施工日数32日 平均 13ヶ所/人日	延べ 53人工 施工日数12日 平均 18ヶ所/人日
仕上箇所数	8030ヶ所	5120ヶ所
仕上工数	延べ 1066人工 施工日数 43日 平均 8ヶ所/人日	延べ 459人工 施工日数 12日 平均 11ヶ所/人日

(ヶ所/人工・日)

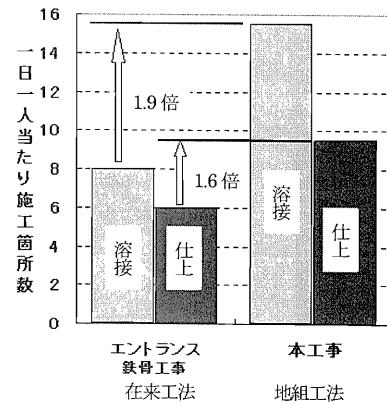


表-6 実施工程

		2000年		2001年	
		10月	11月	12月	1月
ウェイクアップ工事	西工区	架台設置	鉄骨設置・溶接	▼12/8 ウェイクアップ	CW工事
			グラインダー仕上げ	塗装	
東工区		架台設置	鉄骨設置・溶接	建方準備	定着・壁つなぎ溶接・G仕上げ
			グラインダー仕上げ		
本体その他工事		▼11/15 上棟	塗装	建方準備	定着・壁つなぎ溶接・G仕上げ
		地上階本体鉄骨工事		エントランスキューブ鉄骨工事	
		地盤スラブ・CFT CON打設		北面中央部(24t)、地上棟東西面CW下地鉄骨(97t)工事	
			地上棟南面CW下地鉄骨工事(114t)		

2-3 建方工事

西工区 267t、東工区 209 t の鉄骨引き起し作業には、図-7のとおり、地上 4 階に設置した西工区 9 台、東工区 6 台の 100t 油圧ジャッキを用いた。

ウェイクアップ工法による建方作業の管理ポイントは地切り直後と起き上がった状態での揚体変位制御である。図-8に示すように、地切り直後に、揚体に作用する圧縮応力、曲げ応力、変形は最大となる。各部の強度面から隣接する吊り点の変位差は 15mm 以内に抑える必要があった。そこで、ジャッキ本体と揚体吊り点にストローク計を、揚体各部に歪ゲージを取り付け、変位制御と応力管理を行い、安全性の確保を図った。

建方中は、揚体、柱脚、揚重設備等の異常を即時発見・対応できるよう各所に監視員を配置し、指令室の指揮者との無線応答による確実な状況把握と情報の一元管理により、安全を十分確認しながら作業を進めた。

また本工法では、図-9に示すように、揚体が垂直に起き上がるにつれて、吊り点荷重（ジャッキ負荷）が減少し、回転軸と揚体重心位置が鉛直に並ぶ位置（バランス点）を境に、揚体が自重により本体鉄骨側に倒れる状態になる。したがって、揚体がバランス点に到達する直前に、自重による転倒を制御すべく、柱脚部に写真-7

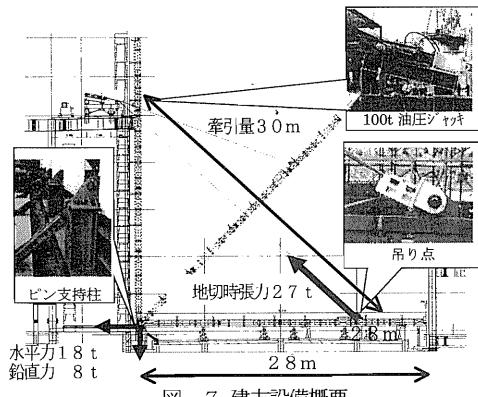


図-7 建方設備概要

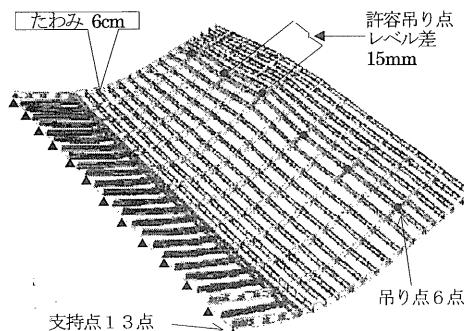


図-8 地切り時 鉄骨変形状態（東工区地組み鉄骨）

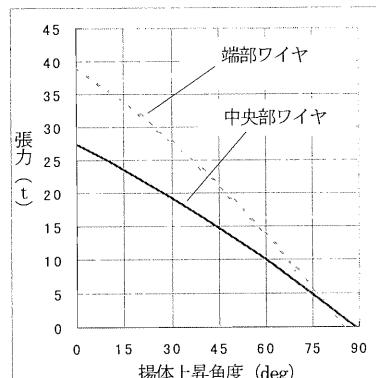
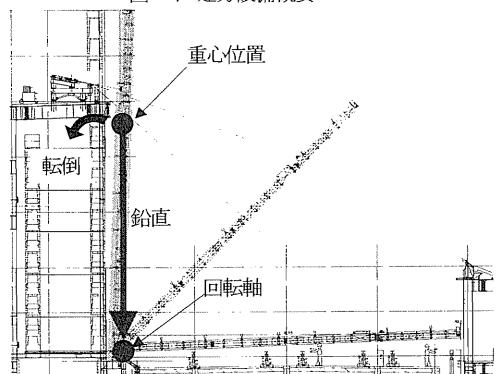
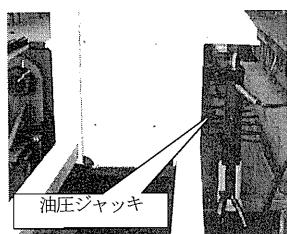
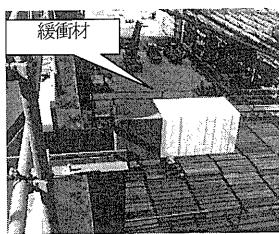


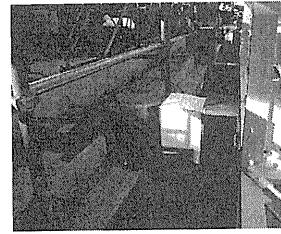
図-9 定着前の揚体挙動とワイヤ張力の変化



転倒防止ジャッキ



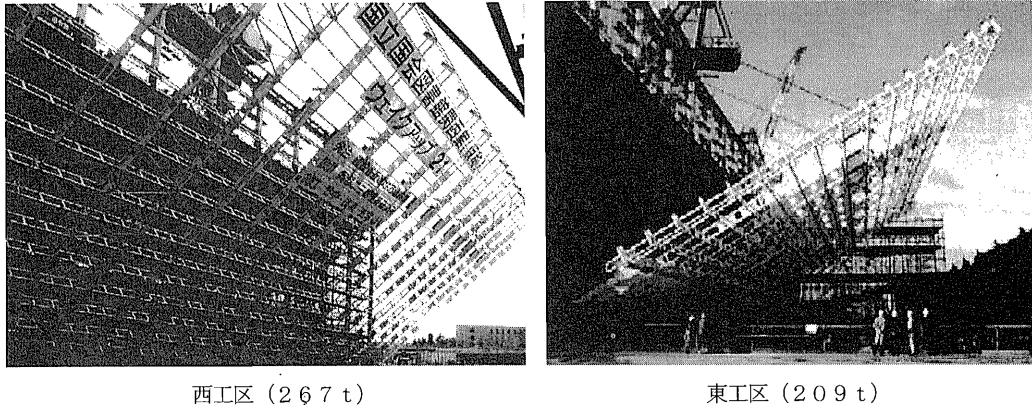
緩衝材（圧縮前）



緩衝材（圧縮後）

写真-7 定着作業時 安全装置

に示す油圧ジャッキを、4階の本体鉄骨との接合部に写真-7の緩衝材を設置し、揚体移動量の制御を行った。緩衝材には積層加工した発砲ポリプロピレンを採用し、その機械的特性を利用して定着点近傍で緩衝材を写真-7のとおり圧縮変形させながら揚体移動量を制御し、安全に定着させた。ジャッキ牽引量30mを8時間で建方完了した。



西工区 (26.7 m)

東工区 (20.9 m)

写真-8 ウェイクアップ状況

3. 結論

ウェイクアップ工法の開発・実施により500tのCW下地鉄骨を安全・高精度・高効率で施工できた。

本工事で得られた成果は以下のとおりである。

①新工法の開発・実施により大規模な地組みが可能となり、高所作業の低減、安全で安定した作業台・作業床での組立てによる精度確保ができ、作業効率は従来工法と比べ、溶接作業で1.9倍、研削作業で1.6倍の向上が図れた。

②下地鉄骨全面積の9.6%を地組みしたことで本体鉄骨工事と並行して施工でき、工期確保が図れた。

③本工事において構築した建方設備（揚重設備、計測設備、揚体回転部、定着部における揚体移動量制御機構など）や管理手法の本工法に対する適正、信頼性が実証できたとともに、様々な施工条件に応じて生産性向上を実現する上で必要な生産設備と施工技術の蓄積に寄与することができた。

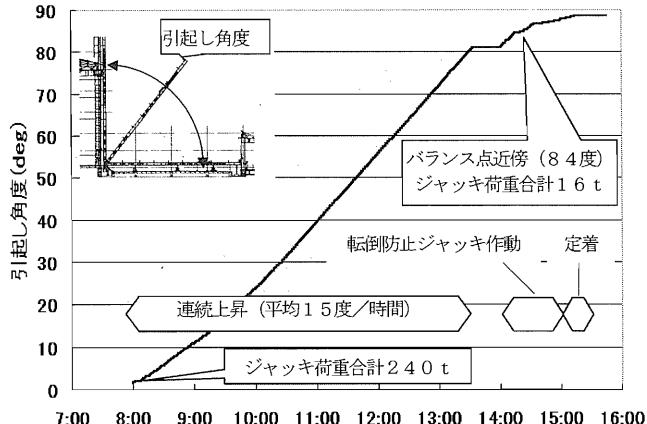


図-9 ウェイクアップ実施工程 (東工区)