

全天候型自動化施工システムの開発と実施

－その5：安全計画（安全管理と危機管理）－

横山 直樹* 翁 幸久*
田中 靖之* 谷 雄一*

要 旨

本システムの導入にあたり、ヒューマンエラーを含めた故障・災害防止に関する安全管理と、災害発生時の対応に関する危機管理の2つの観点から安全計画を実施し、施工を通して効果があったことを確認した。下記におもな取組みを示す。このうち①②は安全管理、③④は危機管理である。

- ①関係者のプロジェクトへの参画意識の高揚と、リフトアップ装置、シャトルクレーンなどの各種設備の安全化対策の実施
- ②機械化・自動化が要求する労働の質の変化（労働の知識化、保全要員、教育訓練）への対応
- ③故障・災害などの緊急事態発生時の各自の役割・行動の明確化
- ④故障・災害発生の予測と復旧対策の準備

1. まえがき

コンピュータの高性能化にともない、施工の機械化・自動化において多くの機能の実現が容易になっている。

このことはすばらしく便利である反面、使い方・対応を間違えると誤動作・故障を起こし、その波及範囲が拡大し、最悪、災害を起しかねない状況にあるとも言える。一方、阪神・淡路大震災を機に、危機・災害への対応と復旧にあたりさまざまな角度から「危機管理」のあり方がクローズアップされている。

危機管理が必要となる機械化・自動化の対象・規模に明確な定義はないが、建築生産にかかわる多くの要素を融合した本システムが不具合により停止した場合の波及範囲が大きいことを考慮すると、これまでの安全管理だけでなく危機管理も含めた安全計画が必要である。

そこで、従来から実施している安全管理だけでなく、故障の波及範囲の拡大防止、および業務の早期復旧を図ることを目的とした危機管理を導入した。以下、本稿（その5）ではこれらの安全・危機管理の実施概要、および適用結果について報告する。

2. 安全計画

安全計画には故障・災害防止に関する安全管理と、災害発生時の対応に関する危機管理があり、それぞれプロジェクトの進捗（設計、組立、施工・運用、解体）に応じた検討事項がある。このうち、本システムの稼働期間が特に重要であるため、この期間の安全計画の留意点とその対策について検討した。表-1に本システム稼働期間の安全計画の構成を示す。

表-1 本システム稼働期間の安全計画の構成

分類	要素	留意点	対策
安全管理	人的要因	1) ヒューマンエラー 2) 労働の質の変化に対応 3) 作業情報の徹底 4) 作業環境の充実	参画意識の高揚 操作の簡略化 作業支援 作業条件書の整備
	設備要因	1) フェールセーフ 2) 故障の予測 3) 誤操作防止対策 4) 状態の変化の把握	緊急時は運転停止 定期点検 臨時点検 管理基準の遵守
危機管理	自然災害	1) 災害の規模把握 2) 災害の予測 3) 災害対策レベルの決定	シミュレーション 気象情報の入手
	社会的責任 (共通)	1) 緊急時の情報管理 2) 対策の決定 3) 迅速な対応 4) 波及範囲の拡大防止 5) 早期復旧	役割と行動の明確化 復旧対策の準備 教育と訓練の実施 運用・保守体制の整備 マニュアルの整備

安全管理には人的要因と設備要因、危機管理には自然災害とこれらに共通な企業責任に関する要素がある。

- ①人的要因：ヒューマンエラーの防止、機械化・自動化が要求する労働の質の変化への対応など、人の観点から捉えた安全管理の要素である。
- ②設備要因：フェールセーフ、どういった故障がおきやすいかを予測し対策を準備するなど、設備の観点から捉えた要素である。
- ③自然災害：災害の規模把握や把握に基づく災害対策レベルの決定など、自然災害防止の観点から捉えた危機管理の要素である。
- ④社会的責任：何らかの原因で故障・災害が発生した場合の情報管理、対策の決定、早期復旧など、企業としての責任遂行の観点から捉えた要素である。

*技術本部 FACESプロジェクトチーム

3. 安全管理

3. 1 人的要因

3. 1. 1 ヒューマンエラー

- 下記にヒューマンエラーに関するおもな対策を示す。
- ①プロジェクトへの参画意識を高めるため、クレーンオペレータ、各職長などには打ち合せを含め設計段階から積極的に加わってもらった。
 - ②違和感を感じない最適な自動化レベルなど、操作を簡略化し作業を容易にした。
 - ③操作ミスを防止するため必要に応じメッセージや警報を出力するなど、作業支援機能の充実を図った。

- ④故障を未然に防ぐため作業条件書の整備を含め、異常時の判断を容易にし、教育・訓練などを実施した。

リフトアップについてはリフトアップ条件書の確立、チェックリストに基づく作業実施状況の確認、担当者に対する教育などを実施した。また、シャトルクレーンについては搬送条件書の確立、搬送経路のチェック、指示・合図の徹底、クレーンオペレータに対する教育などを実施した。

一方、機械・電気設備の安全化計画については、操作方法の明示、使用前点検などを実施した。図-1にリフトアップ前の確認フローを示す。

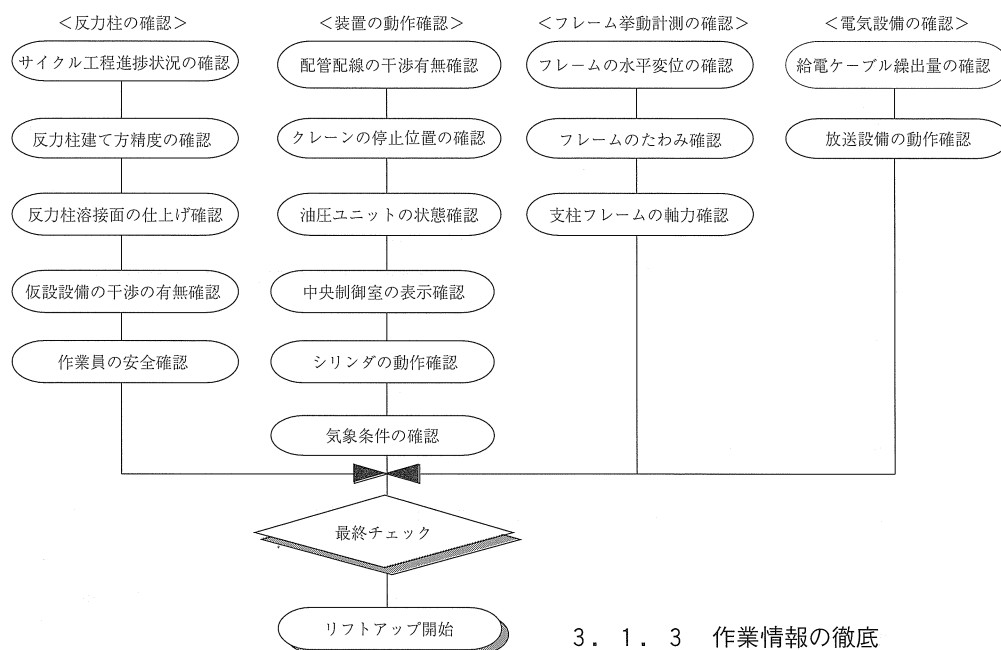


図-1 リフトアップ前の確認フロー

3. 1. 2 労働の質の変化に対応

新しい技術を導入したらどうなるかという観点の検討も重要である。下記におもな留意点とそ対策を示す。

- ①労働の知識化：本来の技能の他に各種の計測結果、状況判断から装置のどこで何が起きているのかを解析できる知識が必要になる。技能だけでなく管理知識の修得を目的に必要に応じ教育を実施した。
- ②保全要員：規模が大きいシステムほど不具合による停止の波及範囲が大きくなるため、定期点検、およびサイクル工程に影響をおよぼさない範囲で保全作業を実施した。
- ③教育訓練：システムの複雑化・高度化にともない、操作マニュアルの増加、および操作ミスに対する許容の幅が小さくなるため、操作ミスの排除と異常処理の即応を目的にした教育訓練を実施した。

3. 1. 3 作業情報の徹底

作業の計画・指示・修正の徹底、および迅速化を図るため、車輛・資機材搬入計画、品質検査データの電子化など施工情報の共有化を実施した（詳細は、その3：サイクル施工と情報化を参照）。

3. 1. 4 作業環境の充実

作業環境の充実は本システムの開発目的の一つである。雨風をしのぐことで快適な作業環境を確保し、高所作業をなくすことで安全な作業環境を実現している（詳細は、その3：サイクル施工と情報化を参照）。

3. 2 設備要因

設備故障による災害を防止するには、フェールセーフ（設備に故障や誤動作が発生した場合の事故を防ぐしくみ）の導入、誤動作防止対策の実施、状態変化の早期把握などが重要である。本システム稼働中の実施対策としては誤動作防止と状態変化の把握の2つがある。

3. 2. 1 誤動作防止対策

- ①インバータや溶接機などからの誘導障害による誤動作を防止するため、高調波フィルターを設置するとともに電源系統を分離した。
- ②電子機器の雷障害を防止するため、電源ラインに耐雷トランスを設置した。

3. 2. 2 状態変化の把握

- ①定期・臨時点検を励行した。
- ②開発要員による保守体制の強化と、広い範囲の点検を実施した。
- ③クレーンレールの据付精度、反力柱の天端レベル、リフトアップ時の負担荷重などの管理値を遵守した。

4. 危機管理

4. 1 危機管理の概要

危機管理とは「緊急事態発生時における行動のあり方を問うもの」と定義されており、本システムにおいては業務（施工）の早期復旧ということになる。すなわち、緊急事態の発生に対し、早期に業務回復を図り企業本来の責任を全うするとともに、自らが社会を構成する一員であるとの自覚に立って数々の社会的責任を果たすことである。これらの責任を果たせるか否かは短期的な視点で企業が被る損害を単に極小化するだけでなく、中長期的な視点においては以後の企業イメージや信頼などに大きく影響を与えることになる。したがって、今後、危機管理への対応は企業のマネジメントにおける重要課題として、さらに強化されていくべきものと考えらる。

そこで、危機管理の最終目的である業務の早期復旧を図るため、「緊急事態への準備」と「緊急事態発生直後の対応」について検討した。

4. 2 危機管理体制と役割

危機管理体制の構築においては、決断および実行の速度と正確さが重要である。すなわち、一分一秒を争う緊急時に有効に機能する体制を構築することが必要であり、シンプルな意思決定と指揮命令系統、および現実に即した詳細な役割分担の二つを基本原則にして構築することが重要である。以上を踏まえ、災害防止計画の作成、災害の調査、および災害対策のレベルを検討する「計画・調査グループ」、災害防止計画、および災害対策のレベルを決定する「対策評価・決定グループ」、企業としての意思決定と災害防止計画を実施する「意思決定者」の3つのグループから構成する体制を構築した。図-2に本システム稼働期間の危機管理体制と役割を示す。

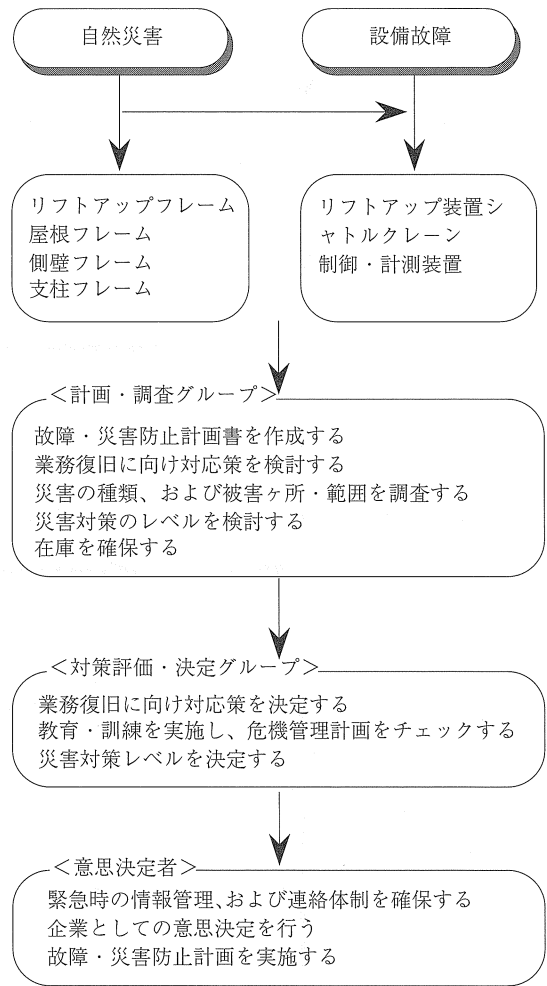


図-2 本システム稼働期間の危機管理体制と役割

4. 3 故障・災害対策の流れ

図-3に本システム稼働期間の故障・災害対策の流れを示す。台風など予測可能な自然災害に対しては作業中止基準*1をもとに作業継続か否かを判断し、継続できない場合は故障・災害防止計画書*2を参照し、その災害の規模に応じた災害対策レベルを決定しすみやかに対策を実施する。

設備故障・自然災害が発生、あるいは自然災害が通過した場合は臨時点検リスト*3をもとに臨時点検を実施し、異常の有無や作業の継続が可能か否かを判断する。継続可能な場合は復旧作業の優先順位を確認して復旧にあたり、作業を再開する。一方、継続不可能な場合は予め検討・計画してある復旧対策*4をもとに復旧作業を行う。なお、図中の太線は本システムの稼働期間に実施した対策の流れを示している。

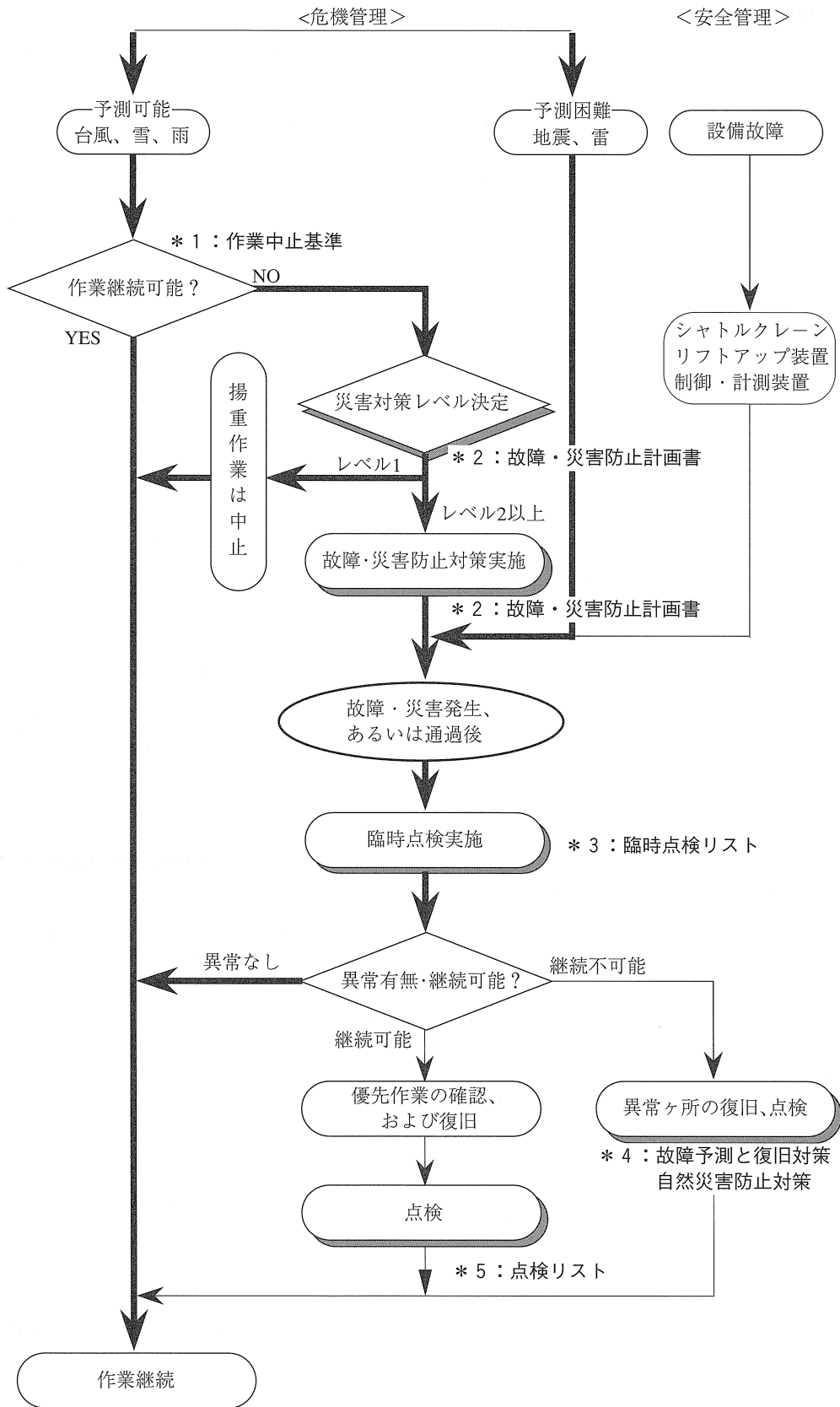


図-3 本システム稼働期間の故障・災害対策の流れ

4.4 故障予測と復旧対策、および自然災害防止対策

表-2 に設備故障を対象にした故障予測と復旧対策を、表-3 に台風を対象にした自然災害防止対策の一例を示す。

表-2 設備故障を対象にした故障予測と復旧対策の一例

項	故障予測	項目	復旧対策の一例	
<リフトアップ装置>				
1	メインシリンダ	ロッド破損	入手可能なシリンダを手配し、補助的に使用する	
		シール油漏れ	油洩れが微量な場合は油を回収しながらリフトアップを行う 油洩れが大量の場合はリフトアップを停止する	
	2	ピンシリンダ	ロッド破損 シール油漏れ	手動式シリンダに取替え、目視確認してリフトアップを 油洩れが多量の場合は、手動式のシリンダに取り替える
	3	クランプ装置	ロッド、レバー曲損	曲がり修正後、リフトアップを行う 手動操作でピンを入抜きして運転を続行する
	4	油圧装置	ポンプ 電磁弁	修理が容易なヶ所であれば修理後、運転を続行する 各電磁弁を手動操作して切り換えながら運転を続行する
	5	カンヌキ	モータ、ローラ	手動操作で開閉し正規の位置に戻す
6	制御系	全自動運転モード	手動連動モードにてリフトアップを続行する	
		ストローク計	ストロークを目視確認しながらリフトアップを続行する	
		パソコン	手動連動モードにてリフトアップを続行する	
		圧力制御増幅器	圧力を手動設定してリフトアップを続行する	
		操作盤内のシーケンサ	ペンダントSWによる手動運転にてリフトアップを続行する	
		各リミットスイッチ	機側盤内にて端子を短絡-開放してリフトアップを続行する	
<シャトルクレーン>				
1	構造部	締付けボルトの弛み	ボルトを増締めする	
		溶接部にクラック発生	ストップホールをあけ補強板を溶接する	
2	巻上下、走行 ブーム旋回 フック旋回 ブーム伸縮装置	共通	吊荷を降ろせる場所に移動して吊り荷を降ろす	
		減速機、モータ、ブレーキ	ブレーキレバーを手動解放して吊荷を降ろし修理する	
		走行モータの場合	4台以下の故障であれば故障モータを取外して運転を続行する	
		旋回ベアリング	異音が発生しても過電流以下であれば運転を続行する	
		シーブ溝からワイヤー外れ	ウインチでフックを巻き上げ、ロープをシーブにはめ込む	
		車輪、サイドローラ	ブレーキを開放して吊荷を降ろし修理する	
ラック&ピニオン	ホームポジションに移動後、修理する			
3	クレーンレール	据付精度	クレーンの走行に支障のある場合はレールを交換する	
4	トロリー線	絶縁低下	ケーブルを仮配線して移動後、修理する	
		断線、焼損	トロリー線、パンタグラフを交換する	
5	ランナフレックス	ランナフレックスの破損	破損ヶ所のランナフレックスを交換する	
		架台から脱輪	架台を芯出し調整する	
6	制御系	通信異常	ケーブルを仮配線してホームポジションに移動後、修理する	
		コンピュータ、シーケンサ	施工階と密に連絡をとりながら手動にて運転を続行する	
<電気設備>				
1	高圧ケーブル	絶縁低下	他系統の負荷が定格以下であれば、連系して給電する	
		断線・焼損・過熱	リフトアップ中の場合は他系統と連系して給電する	
2	キュービクル	トランスの温度上昇	冷却ファンを使用して温度を下げてから運転を続行する	
		トランスの絶縁低下・焼損	他系統の負荷が定格以下であれば連系して給電する リフトアップ中の場合は他系統と連系して給電する	

表-3 台風を対象にした自然災害防止対策の一例

台風の規模	強さ	災害防止対策の一例
弱い (レベル2)	17~25m/sec 看板が飛ぶ 歩きにくい	特になし
並の強さ (レベル3)	25~33m/sec 煙突倒壊 人が飛ばされる	①側壁のシートを一部撤去する ②本体建物に止水階を設置する ③制御室に飛散防止対策を施す ④制御室内の操作盤に雨養生を施す ⑤油圧ユニット内の操作盤に雨養生を施す ⑥側壁下部の折りたたみ足場を固定する
強い (レベル4)	33~44m/sec 立木倒壊	①全シートを撤去する ②上記に準ずる
非常に強い	44~54/sec 屋根が飛ぶ、 列車が倒れる	同上

注：台風の規模、強さは気象庁の基準に準ずる

5. 適用結果

5.1 安全管理の適用結果

5.1.1 ヒューマンエラーについて

当初、懸念していたヒューマンエラーの発生は皆無であった。このことは日々の打ち合せと反省会を通じ作業情報の徹底を図るとともに、マニュアルを整備し教育・訓練を実施したことでプロジェクトへの参画意識が高まり、安全への配慮、人間関係などに気配りするようになったことが起因であると推測する。

5.1.2 保全について

定期・臨時点検を幅広く実施し設備の状態を早期に把握するとともに、故障にいたる前の手直しや保全作業を行った。これらの作業はサイクル工程に支障をおよぼさないようにするため、クレーン休止中や建方作業終了後に実施した。その結果、設備故障の発生も防止することができた。図-4に本システム稼働期間(約7ヶ月)のシャトルクレーンとリフトアップ装置の保全に要した人工数を示す。ソフトウェアの調整に約33人工を要しており、機械化・自動化にともない労働の質が変化していることがわかる。今回は初めての現場導入ということもあり頻繁に点検を実施したが、今回はこれらの保全作業の省力化も含めた安全計画を実施する。

5.2 危機管理の適用結果

台風と地震を経験したが、いずれの場合も計画通りに各自が迅速に対応し施工に支障を与えることはなかった。表-4に故障・災害対策の適用結果を示す。

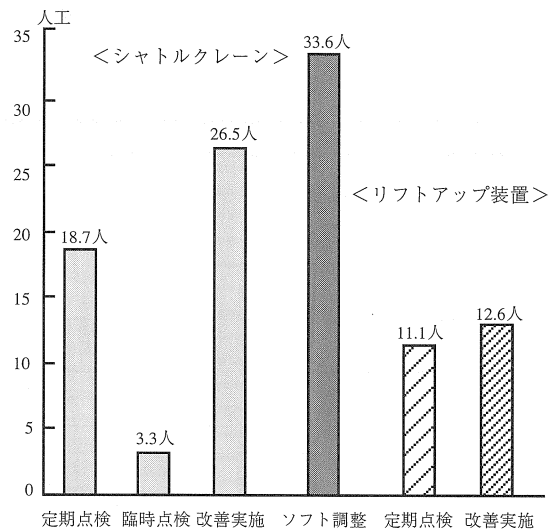


図-4 本システムの稼働期間の保全人工数

6. まとめ

以上述べたように故障・災害はなく、そのうえ地震発生や台風通過後、本システムや現場の状況を短時間で確認することができた。また、設備の状態を早期に把握し故障にいたる前の手直しや、故障・災害などの緊急事態を想定したシミュレーション、どういう不具合がおきやすいかを予測し対策を準備したことも有効であった。

7. あとがき

今回、初めて安全計画に危機管理の考えを取り入れた。解釈によっては「不安なシステム」、「保全が必要なシステム」などの印象を与えてしまう懸念があるが、

不測の事態が発生した場合の対応については、事前の計画や訓練が重要であることは過去の事例をみても明らかである。

今後、ますます技術開発が重要になるが、技術が社会性を確保し認知してもらうためにも、さまざまな角度から安全計画に取組む必要がある。

今後も機械化・自動化の目的の一つである「安全」の向上を目指すと同時に、技術が進むほど安全教育や訓練が必要になることも十分認識し、建築分野における機械化・自動化技術の開発に取り組む所存である。

表-4 故障・災害対策の適用結果

期日	地震発生：'96.09.11 11:37	台風通過：'96.09.22 10:00~18:00
規模	震度3(東京：気象庁発表) 120Gal程度(フレーム上)	最大平均風速：17.0m/sec(気象庁発表) 最大瞬間風速：36.1m/sec(気象庁発表)
対応	<ul style="list-style-type: none"> ・制御室に連絡をとり異常ないことを確認した。 ・クレーン作業の中止を指示した。 NO.1クレーンは鉄骨取付中であったため、作業を継続するように指示した。 NO.2クレーンは揚重前であったので、作業を中止し、点検するよう指示した。 ・制御室に集合、点検ヶ所、人員配置を確認後、点検を開始した(11:50~) ・点検終了時刻：13:15 ・クレーン作業の開始時刻：13:30 	<ul style="list-style-type: none"> ・災害防止対策：レベル2 ・制御室にて監視した。(フレーム変位、風速他) ・現場内を巡回した。 ・台風通過後、臨時点検を実施した。 ・クレーン作業の開始時刻：8:30(通常通りに作業開始)
点検時間	約1時間25分	約1時間
点検結果	特に異常なし	特に異常なし
反省事項	<ul style="list-style-type: none"> 集合場所の再確認 指示連絡システムの再確認 人員配置計画、および各自の役割の再確認 	特になし