

天候が塔状建造物の施工および作業性に及ぼす影響

大幢勝利¹・庄司 学²・藤野陽三³

¹正会員 労働省産業安全研究所 研究員 (〒204 東京都清瀬市梅園 1-4-6)

²学生会員 東京大学大学院 修士課程 (〒113 東京都文京区本郷 7-3-1)

³正会員 Ph.D. 東京大学教授 工学部土木工学科

橋梁主塔や超高層ビルなど高層化した塔状建造物を施工する際には、天候により作業効率や作業環境が通常の建造物以上に大きな影響を受ける。そこで、塔状建造物施工時に天候が作業性に及ぼす影響について、日本を代表する高層ビル、吊形式橋梁の14現場を対象として、ヒアリング、工事資料、アンケート調査を中心に事例的な調査を行い、現状を明らかにし問題点を指摘した。その結果、(1)300m 近くになる塔状建造物の施工実績では天候不良により約15%もの作業が中止になっていたこと、(2)橋梁主塔では風により足場の解体が、超高層ビルでは雨により溶接が大きな影響を受けていたこと、(3)作業員へのアンケート調査の結果、(a)「風、雨」など即作業の安全に影響するものについては、作業中止か否かの判断がある程度適切に行われているが、(b)「暑さ、寒さ」という苦痛に対する現場での配慮が非常に少ないことがわかった。

Key Words : constructability, work environment, weather, bridge pylon, tall building, construction, crane

1. はじめに

近年、明石海峡大橋主塔やMM21 横浜ランドマークタワーなどに象徴されるように、超高層化した塔状建造物が多く建設されている。現在、主塔高さが300mを超える中央支間長2500mクラスの超長大吊橋や、高さ500mに及ぶ超々高層ビルの建設も構想段階に入っており、こうした傾向は今後もさらに進んでいくと考えられる。

このような高層塔状建造物を施工する際には通常の建造物の施工に増して、天候(風、雨、気温、波浪、霧など)が大きな影響を及ぼし、特に高所になるほど風の影響が大きくなり、より高度な建設技術が必要になる。それに対し当然のことながら、天候に左右されない迅速かつ安全な施工が求められる。しかし、長大橋梁に関していえばクレーン等の大型化はあるものの、関門橋以来、我が国の長大橋梁の架設技術には大きな変化はないという指摘もある。このような状況から、天候に対する施工時の対応や評価指針、あるいははさかのぼって設計そのものに、再度見直す点があるのではないかと考えたのが本研究の動機である。

そこで、橋梁主塔・超高層ビルなど塔状建造物施工時に、天候状況が作業効率や作業環境にどのような影響を及ぼしているかについて現況把握をすることとした。具体的には、現場関係者からのヒアリングや工事資料、作業員に対するアンケートを通じ事例的な調査を行った。

本研究の目的は、こうした現況分析から問題点を浮かび上がらせ、その結果をもとに、天候不良時に現場で必要とされている合理的な対応方法や、超々高層化に向けてどのような技術開発が必要とされているかについて明らかにすることである。

2. 研究方法

(1) 調査対象

調査対象は表-1に示す長大橋、超高層ビル14現場とした。これらは日本を代表する、そしていろいろな意味で最も行き届いた現場である。また、表-1の現場の中には関門橋と霞が関ビルディングも含めてあり、過去の代表的な例として比較対照することとした。

(2) 現場調査

調査対象とした現場は表-1に示すように、①施工計画時、②施工中、③施工終了という施工段階別に分けられる。①②③に該当する現場ごとに発注側あるいは施工側からのヒアリング調査を行い、②の現場では可能なかぎり作業員からもヒアリング調査を行った。次に、①の現場については施工計画段階の検討文書、②の現場と③で関門橋と霞が関ビルディングを除いた現場については施工計画書、工事週報、安全管理日誌、気象観測データなどの工事資料、関門橋と霞が関ビルディングについては

表-1 調査対象

a) 土木系 (橋梁主塔を中心に)		高さ(m)
①施工計画時	来島大橋	178
	多々羅大橋	220
	名港東大橋	125
②施工中	○明石海峡大橋	283
	○鶴見航路橋	180
	○白鳥大橋	131
	○名港中央大橋	190
③施工終了	関門橋	134
	東神戸大橋	147
	レインボーブリッジ	123
b) 建築系 (超高層ビル)		
②施工中	○大阪ワールドトレードセンタービルディング (大阪 WTC)	252
	聖路加国際病院再開発計画第三街区	200
③施工終了	MM21 横浜ランドマークタワー (ランドマークタワー)	296
	霞が関ビルディング	156

○ アンケート調査実施現場

工事誌¹²⁾や文献³⁾による調査を行った。また、表-1に○で示した現場については、作業員(高工、鍛冶工、溶接工、塗装工、クレーンオペレーターなど)へのアンケート調査を行った。

(3) ヒアリング、資料・文献調査

ヒアリングによる調査内容は以下の通りである。

- I) 天候に対する施工計画時の予測と施工実績について
- II) 天候が作業に与える影響とその対策について
- III) 制振装置の作業性に対する効果について
- IV) 作業員側からの視点について
- V) 天候に左右されない施工のための技術開発について
- VI) 超々高層化に向けた課題について

また、各現場の資料・文献により、施工計画時における天候に対する作業中止日の見積もり方の調査、天候不良により実際に中止になった作業の拾いだしとその内容の分類、稼働率の割り出しを行った。

(4) アンケート調査

作業員に対するアンケートの内容は、風、雨、気温など天候不良により、作業環境がどの程度影響を受けているかについて調べるためのものである。天候不良により「作業できない、しづらい」と感じた時の頻度と、その時に行っていた作業が中止になった頻度を主に調べた。

アンケートは質問用紙を作業員に配り、後日回収する

という方法で行った。ほぼ 100%の回収率で、回答数は橋梁主塔では 176 部、超高層ビルでは 28 部、合計 204 部であった。

(5) 調査結果の分析

調査結果の分析は以下の 4 点に視点を定めて行った。

- I) 天候により影響を受ける作業について
 - II) 天候に対する現場管理者の施工計画時、施工中の対応について
 - III) 天候不良時の作業員の作業環境について
 - IV) 超々高層構造物の施工時に、天候の影響を軽減するために必要とされる技術開発について
- II) は現場管理者の立場で、III) は作業員の立場で考察し、I、II、III) で調査、分析した結果より IV) について検討した。また、これらの視点に加え、土木・建築という分野別の視点と、過去の実績である関門橋、霞が関ビルディングとの対比を絡ませて調査、分析を行った。

3. 天候により影響を受ける作業

天候不良により作業が中止になる過程で、現場と作業員がどのような影響を受けているかについて分析を行った。その結果を、天候不良による影響概念図として図-1に示す。

図-1 のように、風、雨、気温などの気象要素は現場作業と作業員に影響を与える。現場では、この影響により図-1 に示すような事態が発生し、さらにその事態によっては構造物の品質に問題が発生する場合もある。このような場合、現場では作業中止の決定が下される。

また、作業員は図-1 に示すように、安全と環境面に何らかの形で影響を受ける。この影響によって作業員の肉体面と心理面に問題が発生し、作業員の肉体的な問題によって作業効率が大きく落ちたり、危険な状態になる場合がある。このような場合にも、現場では作業中止の決定が下される。現場において定める作業中止基準はこの段階で活用するための基準である。一方で、作業員の心理的な問題でのみ作業が中止になることは基本的にない。

作業中止決定までの過程については 4 で分析・考察することにする。また、作業員の心理的な問題は現場の作業環境に起因し、5 で別途取り上げることにする。

4. 天候に対する現場管理者の対応

(1) 天候に対する施工計画と実績

各構造物の施工計画時に、天候に対する見積もりをどのようにして行い、また、施工実績⁹⁾はどのようにであったのかを、次の 6 項目に分けて調査しそれをもとに考察する。

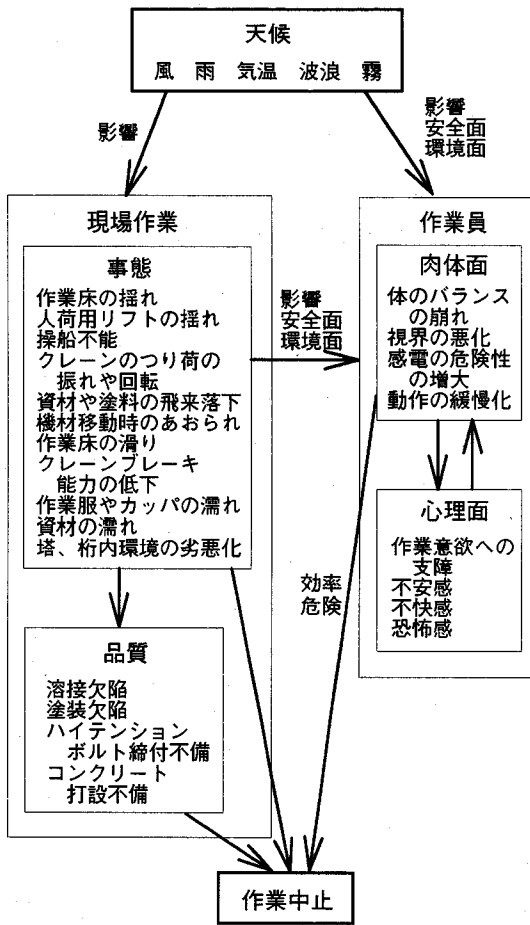


図-1 天候不良による影響概念図

- I) 気象データソース
- II) 不稼働日と仮定する天候基準
- III) 休日の設定基準
- IV) 稼働率算出精度
- V) 稼働率算定理由
- VI) 計画時稼働率と実績稼働率との比較
- a) 計画時稼働率の算定方法

施工計画時には積算・工程計画のために稼働率予測算定を行う。表-2 は計画時稼働率の算定方法を橋梁と超高層ビルとで比較したものである。稼働率算定時の気象データは、橋梁の場合は施工現場を管轄に含んでいる地方気象台の過去何年間分のデータを用いていることが多い。これは、関門橋施工時に行われた手法である。一方、超高層ビルの場合は地方気象台と独自の観測データを用いたランドマークタワーを除き、理科年表のデータを用いている。これは、霞が関ビルディング施工時に行われた手法である。

不稼働日と仮定する天候基準のうち強風に関する基準

表-2 施工計画時の天候に対する見積もり

稼働率算定要因	橋梁	超高層ビル
気象データソース	最寄り気象観測所	理科年表
強風に関する基準	10分間平均風速10m/s	
降雨に関する基準	現場によりばらばら	日降雨量10mm以上
気温、湿度に関する基準	特になし	
休日	4週4~6休	
気候の季節変動 風速の高度補正	現場により考慮しない	考慮する
数値の端数処理	10%単位に丸める現場が多い	そのままの数値を使うなど緻密
稼働率算定理由	積算重視	工程重視

は橋梁・超高層ビルに限らず、10分間平均風速10m/sが1つの基準になっており、関門橋、霞が関ビルディング施工時にもこの基準であった。降雨に関する基準は橋梁の場合、日降雨量を基準とする場合と時間当たりの降雨量を基準とする場合が混在しているが、超高層ビルの場合はこの現場も日降雨量10mmで一致している。また、気温、湿度に関しては、どの現場も不稼働日とする基準を特に設定していない。

休日の設定基準は橋梁・超高層ビルに限らず4週4~6休で、夏季及び正月休暇がそれに付け加わるという設定である。稼働率算定段階ですでに週休2日は考慮されていない。また、強風による不稼働日と降雨による不稼働日、および休日と不稼働日が重なり合って算定される場合がある。ここではその重なり具合を表す数値を重複率と呼ぶことにするが、稼働率算定に当たってはそれを考慮している。重複率の仮定方法は橋梁・超高層ビルに限らず、各現場で独自の仮定を採用しており、他の項目に比べ現場間でかなりばらつきが大きい。

これらによって稼働率を算出する時の精度は、気候の季節変動、風速の高度補正、数値の端数処理について、いずれも超高層ビル施工時の方が細かい精度まで行っている。また、稼働率を算定する理由は、橋梁の場合は工程計画のためだけでなく積算に対する比重を大きくしているのに対し、超高層ビルの場合は工程計画を重視している。

全体的に考えると、気象データソースや強風に関する基準など、橋梁は関門橋施工時の、超高層ビルは霞が関ビルディング施工時の手法を踏襲している。しかし、稼働率の算出精度については、超高層ビルでは霞が関ビル

ディング施工時の手法を用い精度良く行っているのに対し、橋梁では超高層ビルほど精度良く行っていない場合もあり、関門橋施工時の手法をやや簡略化している現場もある。

b) 計画時稼働率と実績稼働率

図-2 は橋梁主塔では塔の架設、超高層ビルでは鉄骨建方について、計画時稼働率と実績稼働率を比較したものである。天候不良による中止日とは、計画時においては天候不良により作業ができないと予測した日を、実績においては実質的に作業がほとんど中止になった日を表している。また、図-2 のレインボーブリッジでは、計画時の休日と天候不良による中止日が示されていないが、過去の施工実績を重視して稼働率のみ算定しているためである。

図-2 より、全ての現場で実績稼働率が計画時稼働率を上回っている。特に橋梁の場合は、明石海峡大橋以外の全ての現場で計画時稼働率より10%程度高くなっている。また、各現場での延べ日数に対する休日の比率を休日率と定義すると、過去の実績である霞が関ビルディングを除いて、橋梁主塔施工時より超高層ビル施工時の方が全体的に休日率が高くなっている。

ここで、天候不良による作業中止日を休日に換算する場合もあるが、休日と前もって決められた日のみを休日と考えて考察する。1年間に盆、正月休暇を7日ずつ取ったと仮定して、4週6休でいくと休日率は23.6%、4週4休でいくと17.0%であるから、橋梁の場合は4週4休を達成していない現場が3現場存在することになる。また、仮に天候不良による作業中止日を休日に換算したとしても、4週6休を達成していない現場もある。4週8休が一般化しつつある現在にあって、4週4~6休という計画時の見積もりにも達していない現場があることになり、前述した稼働率の算出精度がこの原因の1つと考えられる。

c) 風雨による作業への影響

図-3 は図-2 の天候不良による中止日を風雨ごとに内訳したものである。今から20年以上も前の霞が関ビルディング建方では、作業中止日の割合が11.5%とやや高いが、これは当時の安全、天候対策が現在と比較にならないほど簡易なものであったためと考えられる。それを除いて、高さが300m近くにもなる明石海峡大橋とランドマークタワーでは、天候不良による影響が他の現場に比べ極端に大きく、15%前後もの作業が中止になっていた。これを風雨の内訳でみると、明石海峡大橋では風の影響が大きく、ランドマークタワーでは雨の影響が大きかった。

橋梁主塔と超高層ビルでは施工方法が違うため、それぞれ別の原因で天候の影響を受けていたと考えられる。これを作業日誌から調べたものが図-4である。図-4において、実質的な影響の度合を稼働日に対する作業中止日数の比で表し、中止日率と定義した。また、複数の気象

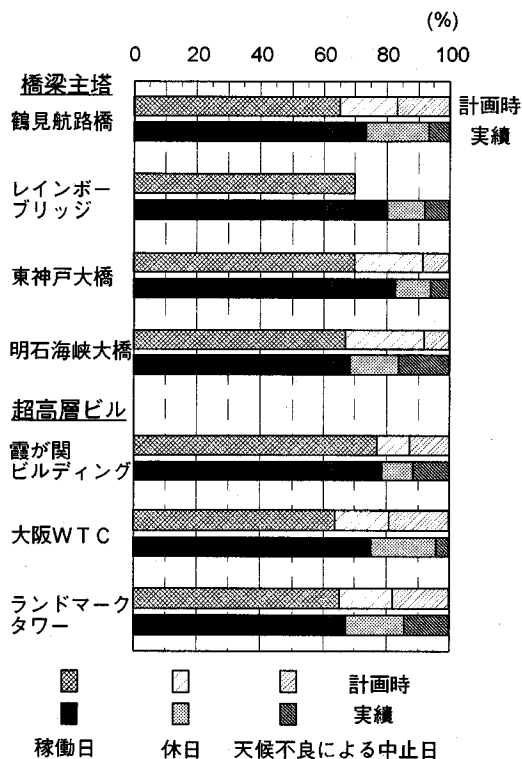


図-2 計画時と実績稼働率

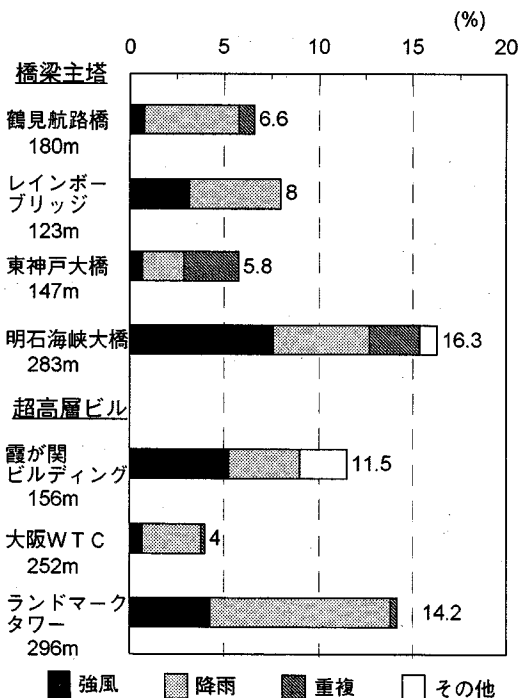


図-3 天候不良による中止日の内訳

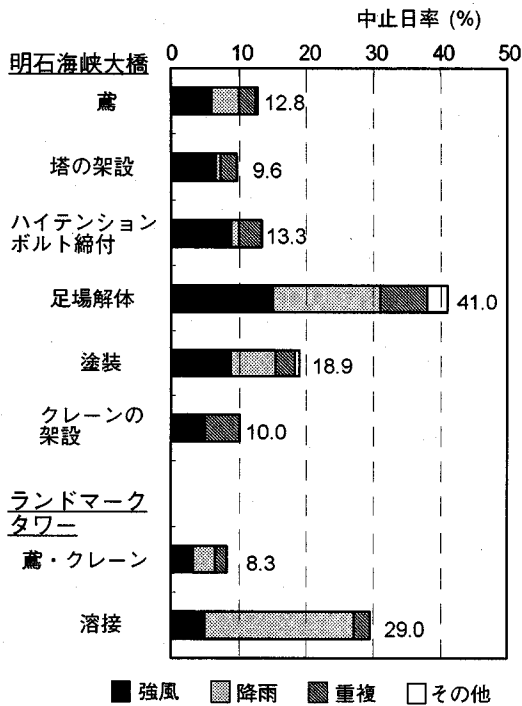


図-4 作業内容ごとの中止日率
(明石海峡大橋とランドマークタワー)

要素による作業中止日は重複日として数え上げた。

この結果、明石海峡大橋の場合は足場の解体が最も大きな影響を受けており、風と雨の影響はほぼ同じであるが天候全体での中止日率は41%もあった。しかし、作業内容全体で考えると雨より風の影響の方が顕著である。一方、ランドマークタワーの場合は溶接が雨により大きな影響を受けており、天候全体での中止日率が29%であるのに対し、雨だけで中止日率は22%もあった。これらの原因、対策については以下に考察する。

明石海峡大橋の場合は、そのクラスの主塔高さでは大ブロックによる一括架設ができないため単材架設が行われた。その際、塔ブロック間をボルトで接合するための足場の設置は不可欠なものである。その足場の解体はゴンドラ作業により行うが、解体を行っていた時期は異常気象により風雨の強い日が続いたため、このゴンドラ作業が風雨により大きな影響を受けた。その結果、図-4のようにその中止日率が非常に大きくなり、図-3で作業中止日の割合が15%程度にもなった。

足場の解体のためのゴンドラ作業は、元来風により特に影響を受けやすいものである。今後の橋梁主塔の超々高層化を考えると、より多くの足場が必要となり、それに伴い足場の解体に対するゴンドラでの作業量も増大していくと考えられる。これに対し、高所になるほど風の影響は大きくなっていくため、足場の解体作業が風によ

りこれまで以上に大きな影響を受けていくと予想される。この問題の対策としてゴンドラ作業を減らすためにも、解体の容易な足場を開発していくことが一つの方法と思われるが、本質的な解決策として、足場を必要としない、すなわち塔外作業を行わない工法を開発する方向に、むしろ進むべきではないかと考える。

例えば、塔内ボルトによる塔ブロック間の接合が設計において許されることになれば、足場を必要としない施工が行えるが、このためには従来の設計・施工方法を見直していくことが必要である。つまり、施工の合理化は設計の問題でもあることを理解すべきであろう。我が国の長大橋梁は架設期間が長いと指摘されており、施工の合理化は設計の問題とからめて考えるべき急務のことである⁹⁾。

一方、ランドマークタワーでは、鉄骨の板厚が大きく部材点数も多いため、大きな補強を必要とするボルト接合ではなく、一般的な超高層ビルにも見られるように、経済的に有利な溶接接合が行われた。その溶接作業は雨により特に影響を受けやすく、図-4のようにその影響は非常に大きかった。しかし、鉄骨の大型ブロック化、ユニット化によるつり荷の重量化、揚重回数の低減、後述するつり荷姿勢制御システム⁹⁾など、ランドマークタワーでは風に対する対策をこれまでの高さの構造物以上に行い、施工の迅速化を図っていた。このため、風により影響を受けやすい嵐・クレーン作業の影響を、むしろ図-4のように抑えることができたと考えられるべきである。このような対策をしなければ、図-3で示した作業中止日の割合は15%をかなり超える値になったであろう。

今後の超々高層ビルの施工を考えると、雨はどの高さにおいても同じような影響を及ぼすと考えられるため、今後とも溶接作業に対する雨対策は重要な課題である。それにも増して、風の影響はより大きくなっていくため、ランドマークタワー以上に風対策を行う必要があると考えられる。これらの影響を排除するためには、現在中高層ビルの建設で行われ始めたように全天候型化⁷⁾するなどの方法も考えられるが、経済性、安全性など超高層ビル建設に適応できるかどうか問題となる。

(2) 天候不良時の現場での対応

天候不良時の判断系統を各現場ごとに次の4項目に分けて調査しそれをもとに考察する。

- I) 気象観測方法
- II) 天候不良時の連絡系統
- III) 気象観測データに対する比重のかけ方
- IV) 天候不良時の判断過程とその方法、最終決定者

図-5は天候不良による作業中止の判断から連絡までの過程を、模式図化したものである。図-5のように、現場では天候状況を常に把握するために気象観測を行って

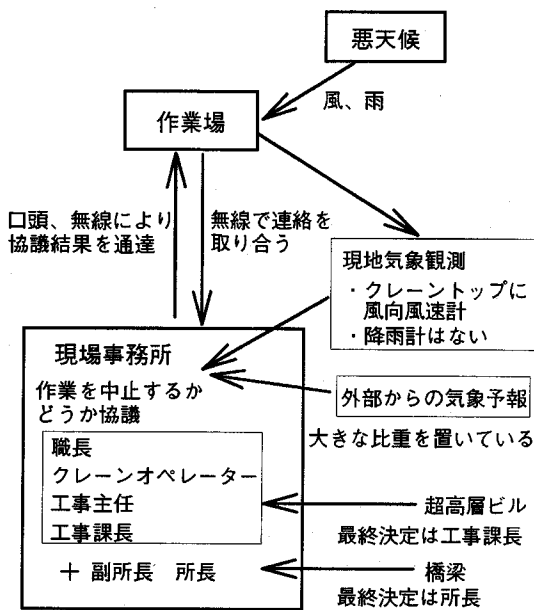


図-5 作業中止の判断から中止までの過程

る。橋梁・超高層ビルに限らず風向風速は測定しているが、降雨に関して測定している現場はほとんどない。風向風速の測定はクレーンに風向風速計を設置して行っており、そのデータはクレーンのオペレーター室でモニターできるようになっている現場もあれば、オンラインで直接現場事務所でモニターできるようになっている現場もある。

天候が悪化した場合はその観測データをもとに、作業場と現場事務所との間で無線によって連絡を取り合い、作業を中止するかどうか協議する。また、その協議結果は、工事主任から職長、作業員の順に口頭や無線で伝えられる。なお、関門橋と霞が関ビルディングの施工時には無線がなく、電話あるいは有線で連絡を取り合っていた。

作業中止の協議は橋梁・超高層ビルとも現場事務所で行われる。その判断材料としては、現場での気象観測データは参考とする程度で現場の状況により判断している場合が多い。また、多くの現場では外部から入手する気象予報にも大きな比重を置いている。協議者は、橋梁現場の場合は職長、クレーンオペレーター、工事主任、工事課長に、副所長や所長が含まれ、最終決定は所長により行われる。一方、超高層ビル現場の場合は工事課長クラスまでで協議、最終決定が行われる。

天候不良時の対応は常に迅速かつ正確なものが要求される。しかし、天候不良時の対応の遅れが原因と思われる災害事例もある。たとえば1991年には、大雨により河

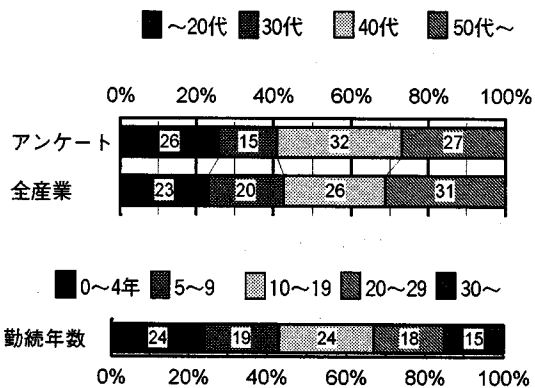


図-6 アンケート回答者の年齢構成、勤続年数

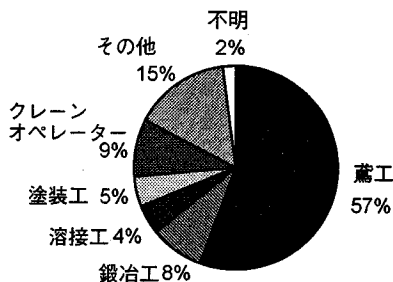


図-7 アンケート回答者の職種構成

川が氾濫して濁水が工事中のトンネル内に流入し、7人が死亡している⁸⁾。工期との関係もあるだろうが、超々高層化を考えると、天候不良に対する対応がより一層重要なものになるとと思われる。

5. 天候不良時の作業員の作業環境

天候不良に対する現場での作業員の作業環境について、アンケート調査結果⁹⁾を中心に作業員の立場に立った姿勢で考察する。

(1) アンケート回答者の構成

アンケート調査は表-1に示した5現場の作業員に対し行った。総回答数は204部であったが、その年齢構成¹⁰⁾、勤続年数を図-6に示す。アンケート回答者の年齢構成は全産業の就業者と比較して、20、40代が多く30代が少なくなっている。現場関係者からの指摘では20代の人は多く入ってくるがすぐやめてしまい、結局40代以上の高齢者だけが残っているとのことである。アンケートの年齢構成もそれを反映している。さらに、勤続年数については10年未満の作業員が43%にもなり、熟練工が少な

質問：風によってつり荷が振れるために、作業しづらと思ったこと、作業しづらと思った時に作業中止になったことがどれくらいありましたか。

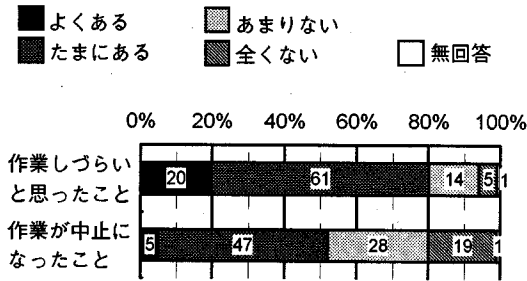


図-8 つり荷の振れに対するアンケート調査結果

質問：今までに構造物の揺れによって、作業に何らかの支障が出たことがありますか。

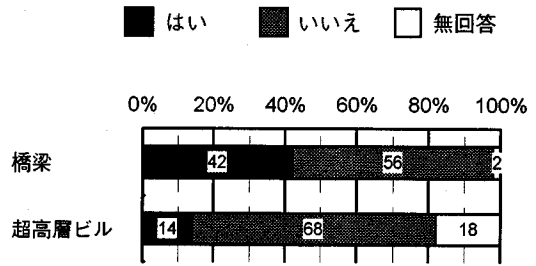


図-9 構造物の揺れに対するアンケート調査結果

いことがうかがえる。

また、図-7 に職種構成を示すが、どの現場でも鳶工の行う作業が多いため他の職種より人数が多く、アンケートでも鳶工の意見がかなり反映されていると考えられる。

(2) 強風によるクレーンのつり荷の振れや回転

強風によるクレーンのつり荷の振れや回転は、ヒアリング調査した大部分の現場関係者から指摘されたことである。図-8 に示すアンケート調査でも、「作業しづらい」と思ったことが「よくある」、「たまにある」と回答した作業員は合計すると 81% もいた。さらに、作業しづらい時に作業中止になったことがどれくらいあったかについて、全員に対し改めて質問したところ、「よくある」、「たまにある」と回答した作業員は合計すると 52% しかいなかった。すなわち、作業員が危険と感じる中で 50% の確率でクレーン作業を行っていたことになる。

強風によるつり荷の振れ、回転防止は従来から長尺棒で抑えたり、2本の介錯ロープで引っ張る方法で行われていたが、超高層構造物を施工する時にはこれらの方法で制御することは困難である。ランドマークタワーの建設では PC 版の回転防止をするために、つり荷姿勢制御システム⁶⁾を開発導入し効果を上げている。

一方、PC 版と比較して重量物を揚重する橋梁では、関門橋の時代と変わらず主塔ブロックの制御を介錯ロープで行っているのが現状である。橋梁主塔のブロックのような重量物は強風により振れたり回転しにくい、現場関係者からの指摘では、明石海峡大橋クラスの 300m の高さにもなると、天候の変化により一度ブロックが動き出すと、介錯ロープではほとんど制御できなかつたとのことである。

これより、超々高層化に向けて作業員の危険を軽減し作業効率を上げるためには、橋梁主塔のブロックのような重量物の揚重時にも、強風による振れや回転に対する何らかの対策を考える必要がある。

(3) タワークレーンの巻き上げ速度

明石海峡大橋のタワークレーンは、定格荷重 160tf 時の巻き上げ速度が 5m/min であり、主塔高さがおよそ 300m であることから、塔頂まで主塔ブロックを揚重するのに約 1 時間も要する。このため、揚重作業中は天候を早くかつ正確に読むことが要求される。しかし、(2) で述べたように天候の変化により主塔ブロックの制御がほとんどできず、作業に支障が出たことがあった。このような明石海峡大橋での施工例から明らかのように、数時間後の局所的な天候予測が難しい現状では、300m を超える主塔施工におけるクレーンについては、巻き上げ速度を現状より早くする必要がある。この問題は多くの現場関係者も指摘していたことである。

巻き上げ速度を早くするためには、電動機やそれに付随する設備を大型化する必要がある。また、緊急停止時のブレーキや衝撃荷重に対する安全性についても問題が生じる。このため、設計段階より綿密に計画し、経済性を考慮した技術開発を行う必要がある。

(4) 構造物の揺れ

塔状構造物施工時には強風により構造物の揺れが発生する。構造物の揺れの問題は超高層ビルと比較して、ケーブルを張るまでは風によって非常に揺れやすい構造になっている橋梁主塔の方が顕著である。橋梁主塔の現場ではこの問題の解決手段として、同調質量ダンパー (TMD) や、最近ではアクティブ制振装置を設置しており、技術的に一定の成果を上げている。しかし、図-9 に示したアンケート調査結果では、橋梁の場合制振しているにも関わらず、構造物の揺れによって何らかの影響が出たと 42% の作業員が回答している。超高層ビルの 14% に比べこれは無視できない数字である。

制振装置が働き出すトリガーレベルは、10gal にしている現場と 50gal にしている現場の 2 つに分かれている。この 50gal という数値は ISO2631, 6897 の振動限度度

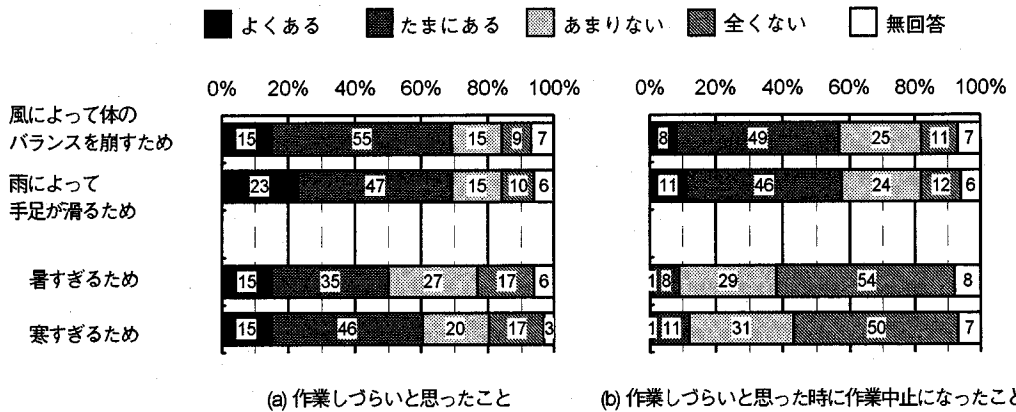


図-10 風、雨、暑さ、寒さに対するアンケート調査結果

主に参考にしたものである。しかし、この限度は必ずしも橋梁主塔での作業を対象にしたものではない。ある現場では、トリガーレベルを 50gal より低い 20gal に当初していたが、塔の揺れにより溶接作業に支障が出たため、10gal に上げて作業性を確保したとのことである。今後の構造物の高層化を考えるとこれまで以上に風により揺れやすくなる。溶接作業などに支障が出ないための制振レベルを、人間工学的な立場から策定することが必要である。

(5) 風、雨、暑さ、寒さに対する作業環境

図-10 に示すアンケート調査結果より、風により体のバランスを崩す、雨により手足が滑ることにより「作業しづらい」と思ったことが「よくある」、「たまにある」と回答した作業員は合計するとどちらも 70% いた。さらに、この頻度が低い人も含め改めて全員に対し、風雨によりその時に行っていた作業が中止になったことがどれくらいあったかについて質問したところ、「よくある」、「たまにある」と回答した作業員は合計でどちらも 57% であった。同様に、暑すぎる、寒すぎる場合は「作業しづらい」と思ったことが「よく、たまにある」人がそれぞれ 50、61% であったのに対し、その時の作業が中止になったことが「よく、たまにある」人はそれぞれ 9、12% しかいなかった。

これより、風雨が作業員の作業性に大きな影響を与えており、現場でも暑さ寒さに比べれば一見それなりの対応がなされていると考えられる。しかし、逆に考えれば 4 割近くの作業員が、風雨により作業しづらい時にその作業が「あまり」、「全く」中止になっていないと感じていることになる。今回調査した現場が日本を代表するものであることを考慮すれば、風雨に対する作業員への配慮についても、まだ検討の余地があると考えられる。

一方、暑さ寒さが風雨同様、作業員の作業性に大きな

影響を与えているが、その影響に比して風雨に比べ現場における配慮が極端に少ないことがわかった。作業員にとってみれば、暑さ寒さに対しては風雨以上に実際の行動と意識との間でかなりのギャップが生じている。

現場では作業員の休憩所に空調設備を設置するなどの暑さ寒さ対策を講じている。しかし、実際作業を行う作業場では、塔内や桁内であれば換気設備による空気の入れ換えを行う程度で、暑さ寒さなど作業の苦痛を防止するための必ずしも十分な解決策をとっていないのが現状である。

(6) 今後の塔状構造物施工時の作業環境

アンケート調査で作業員から特に配慮が少ないと指摘された「暑さ、寒さ」の問題は、直接には作業の安全とは結びつかないものである。風雨のようにバランスを崩す、手足が滑るなど直接作業員が危険な状態になる場合と比較して、暑さ寒さのように我慢により耐えられると考えられているものについては、これまで現場では重要視されていなかった。それとは対照的に、足場などの安全設備は死傷事故防止という見地から非常に重視されてきている。

これを現在と過去の現場について考える。写真-1 は過去の代表例である霞が関ビルディング施工時のものであるが、100m 以上の高さでも足場なしに作業を行っていた。しかし、墜落による死亡事故は 1 件も発生しなかった。当時の鷹工は、現在に比べ高待遇であったため人気が高く、現場でも若くて優秀な人材を確保できたことが 1 つの要因であると考えられる。

一方、現在の代表例である明石海峡大橋主塔の架設では写真-2 のような足場を使用しており、作業の安全性を第一義的な目的として作られている。すなわち、誰にでも働けるように十分安全な足場であり、それに対し過剰であると指摘する現場関係者も多くいた。このような足

場の解体作業は危険を伴うものであり、4.(1)c)より、明石海峡大橋ではその解体作業の約4割が天候不良により中止となっており、作業効率を大きく低下させていた。

今後の塔状構造物施工時の作業環境を考えた場合、写真-2のように過剰であるともいえる作業員の安全管理をさらに発展させて、(5)で述べた「暑さ、寒さ」など作業の「苦痛」を考慮に入れていくことも一つの方法である。しかし、これだけ安全設備が整備されても、(5)のアンケート調査結果では「風、雨」など作業の「安全」に対してすら、作業員はまだ十分でないと感じていた。これらのことから、ここで少し考え方を変えると、写真-1、写真-2のような現場に対して安全設備を必要最低限にし、作業員に対しては待遇面での配慮から補償していく方法もあり得る。このことは、安全面に加え環境面にも投資し、誰にでも苦痛なしに働ける現場を目指すのか、あるいはリスク、苦痛を自己の責任において管理することができる人材を養成し、高待遇で地位のある優秀な作業員のみ働く現場とするのかの選択ともいえる。

6. まとめ

塔状高層構造物の施工時に、天候状況が作業効率や作業員の作業環境にどのような影響を及ぼしているかについて調べるため、現場関係者からヒアリング調査を行い、作業員からはアンケート調査を行った。また、施工計画書、工事週報、安全管理日誌、工事誌などの資料、文献調査によってヒアリング、アンケート調査結果を補完した。

その調査結果を、天候に対する現場管理者の対応、作業員の作業環境、超々高層化に向けて必要な技術開発について分析した結果、以下のようなことがわかった。

①施工計画時の天候に対する稼働率予測算定は、橋梁の場合は関門橋施工時の、超高層ビルの場合は霞が関ビルディング施工時の手法を踏襲している。しかし、橋梁の稼働率の算出は超高層ビルほど精度良く行われていない場合もあり、関門橋施工時の手法をやや簡略化している現場もあった。また、計画時稼働率と実績稼働率とを比較すると、橋梁の場合は計画時に見積もった休日数を達成していない現場がかなりあり、稼働率の算出精度がこの原因の1つと考えられる。

②明石海峡大橋主塔やランドマークタワーなど300m近くにもなる構造物の施工時には天候不良により約15%の作業が中止になっていた。この原因について作業内容ごとに天候に対する影響を調べた結果、明石海峡大橋主塔の場合、風により足場の解体作業が大きな影響を受けていた。また、ランドマークタワーの場合は、雨により溶接作業が大きな影響を受けていたが、高所になるほど風

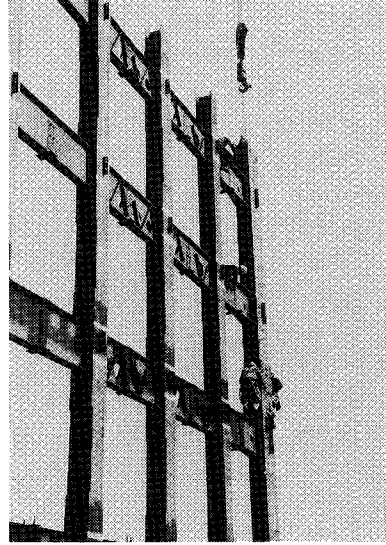


写真-1 霞が関ビルディングの建設 (鹿島建設提供)
(足場なしの鉄骨建方作業)

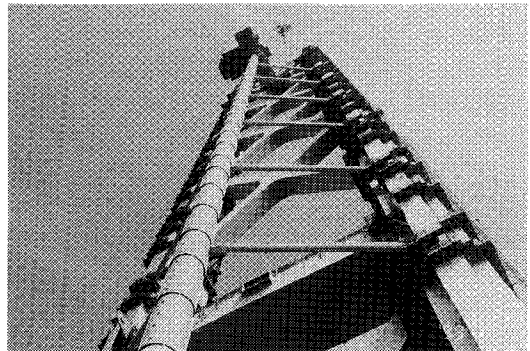


写真-2 明石海峡大橋主塔の建設 (本州四国連絡橋公社提供)
(誰にでも十分安全な足場)

の影響が大きくなるため、今後はクレーンの揚重作業などがこれまで以上の影響を受けると考えられる。このため、300m以上の超々高層構造物を施工する場合には、これらの影響に対し何らかの対策を行う必要がある。

③天候不良に対応するため、現場では現地での気象観測に加え、外部から気象予報を入手するなどの対策を講じている。しかし、天候不良時の対応の遅れが原因と思われる死亡災害が、トンネル工事ではあるが発生しており⁸⁾、今後は天候不良に対する対応がより一層重要なものになると思われる。

④作業員へのアンケート調査で最も危険を感じる作業と指摘されたのが、クレーンのつり荷の振れと回転の問題であった。超高層ビルの場合はその対策としてつり荷の姿勢制御装置を開発導入し効果を上げていた。しかし、橋梁の場合は作業員の危険を軽減し、作業効率を上げる

ためにも、つり荷の振れと回転防止に対する技術開発を行う必要がある。また、同様に指摘されたタワークレーンの巻き上げ速度にも技術開発が必要であると考えらる。

⑤超高層化した橋梁主塔の施工時には強風による構造物の揺れという問題が発生する。現場ではこの問題の解決手段として制振装置を設置し、技術的に一定の成果を上げている。しかし、アンケート調査結果では、橋梁の場合、構造物の揺れによって何らかの影響が出たと42%もの作業員が回答している。このため、作業に支障が出ないための制振レベルを、人間工学的な立場から策定することが必要である。

⑥アンケート調査で、「風、雨、暑さ、寒さ」により作業しづらくなった時に、作業中止になったことがどれくらいあったかについて質問を行った。その結果、「よく、たまにある」と回答した作業員は合計で、「風、雨」の場合どちらも57%であった。しかし、「暑さ、寒さ」に対しては、それぞれ9、12%であり、「風、雨」に比べ現場ではほとんど配慮されていないことがわかった。この結果より、今後の塔状構造物施工時の作業環境を考えた場合、「風、雨」など作業の「安全」に加え、「暑さ、寒さ」など作業の「苦痛」にまで配慮していくことも一つの方法である。しかし、現場での安全面への配慮は過剰であるという指摘もあることから、少し考え方を変えると、作業員に対しては待遇面での配慮から補償していく方法もあり得る。すなわち、誰にでも苦痛なしに働ける現場を目指すのか、あるいは、リスク、苦痛を自己管理できる、高待遇で優秀な作業員のみ働く現場とするのかの選択ともいえる。

謝辞：本研究を行うにあたって、貴重な御意見や御助言をいただきました。東京大学工学部土木工学科の國島正彦教授に深くお礼を申し上げます。

現場調査では、関門橋に関しては(財)道路保全センター顧問の篠原洋司氏に、霞が関ビルディングに関しては鹿島建設(株)建築技術本部生産技術部次長の内藤龍

夫氏に、過去の施工実績と、現在までの施工方法の変遷や問題点について御意見や資料をいただきました。現在の施工については、橋梁では北海道開発局、日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、本州四国連絡橋公団、超高層ビルでは(株)日建設計、三菱地所(株)の方々と、橋梁、超高層ビルの実際の施工に携わっている各現場のJVの方々に、御意見や施工に関する資料をいただきました。各現場の職長をはじめ作業員の方々にも、御意見をいただきアンケート調査にも御協力していただきました。心よりお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路公団編；関門橋工事報告書、日本道路公団福岡管理局、pp.57-69, 1977.
- 2) 霞が関ビル建設委員会監修；霞が関ビルディング、三井不動産株式会社、pp.54-64, 1968.
- 3) 武藤 清監修、二階 盛編；超高層建築4施工編、鹿島出版会、pp.209-295, 1972.
- 4) 庄司、大幢、藤野；天候が塔状構造物の建設時作業性に及ぼす影響、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第1部(A)、pp.320-321, 1994.
- 5) 藤野、長井；吊形式橋梁の現状と将来、鋼構造論文集、Vol.1、No.3、JSSC、pp.17-35, 1994.
- 6) 坂本、田中、西村；建築資材の揚重における姿勢制御に関する基礎的研究、日本建築学会構造系論文集、No.464、pp.33-41, 1992.
- 7) 羽切、斎田、新美ら；全天候型ビル自動施工システム仮設架構の開発と適用、日本建築学会大会学術講演梗概集 A、pp.1141-1144, 1994.
- 8) 建設業労働災害防止協会；建設業安全衛生年鑑平成4年版、pp.112-121, 1992.
- 9) 大幢、庄司、藤野；天候が塔状構造物を建設する作業員の作業環境に及ぼす影響、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第6部、pp.518-519, 1994.
- 10) 総務庁統計局編；日本の統計1992/93、大蔵省印刷局、pp.28-29, 1993.

(1994. 4. 17 受付)

WEATHER INFLUENCE ON CONSTRUCTABILITY OF TALL STRUCTURES

Katsutoshi OHDO, Gaku SHOJI and Yozo FUJINO

In the construction of tall structures, weather have strong influences on their constructability. In this study, therefore the influence of weather on the construction at 14 tall structure sites was studied by investigating job diaries, interviewing supervisors and workers and sending out questionnaires to workers. From this investigation, it was clarified that: (1) the ratio of idle construction of towers with 300m height was as much as 15% because of bad weather, (2) in construction of tall bridge pylons the critical factor was wind, while construction of tall buildings was mainly influenced by rainfall, (3) construction work was usually executed even under unacceptably cold or hot weather, while under wind or rainfall, it was often stopped.