

天候が超高層構造物施工時の作業性に及ぼす影響*

大幢 勝利**

Influence of Weather on Work Efficiency in Construction of Tall Structures*

by Katsutoshi OHDO**

Abstract: Height of bridge pylons and buildings has been increased significantly in recent years. Tall buildings with the height of more than 500 m and long bridges with the span exceeding 2.5 km are now entered upon planning phases. In planning of such tall buildings and long bridges, their structural resistance after completion against the wind and earthquake loads has been extensively discussed, but constructability of such buildings and bridges is not considered in detail yet. In construction of such tall structures, the weather conditions such as wind, rainfall and temperature have more strong influence on work environment and efficiency than that on conventional structures. For constructing extremely tall structures in future, there is a strong need to identify the problems of the present construction techniques, and to develop technologies for safe and speedy construction under severe weather.

In this study, for this purpose, major recent construction sites in Japan, 10 tall bridge pylons and 4 tall buildings, were selected for the investigation. These sites were studied by investigating job schedules, interviewing supervisors and workers and sending out questionnaires to workers. This investigation was intended to survey how the weather affected work environment and efficiency, and to clarify what kind of weather-robust construction methods were needed.

The results of the investigation are summarized as follows.

- (1) The weather influence estimation for construction schedules in building plans is more quantified and detailed than that in bridge plans.
- (2) For the highest bridge pylon and building in Japan with the height of about 300 m, the rates of non-workable days were as high as 15% respectively. In construction of the bridge pylons, pulling down work of scaffoldings was influenced mainly by wind, while welding work was more influenced by rainfall for the tall building.
- (3) More than 80% of the workers have experienced difficulty or felt danger by swing and rotation of the load in crane work under strong wind. Control systems to reduce swing and rotation of the heavy weight blocks need to be improved.
- (4) Based on the questionnaires addressed to the workers, construction work under extremely hot or cold weather was stopped only with around 10% probability, though the construction work under extremely strong wind or heavy rainfall was stopped with about 60% probability. The weather element such as temperature which affects the physical conditions of workers but has no direct influence on the structure's quality and risk is not considered as a reason to stop the construction.

Keywords; Weather, Construction, Work environment, Bridge pylon, Tall building, Crane

*この研究の一部は土木学会論文集 No.534/VI-30, 1996 に発表した。

**建設安全研究部 Construction Safety Research Division

1. はじめに

近年、構造物の高層化が進んでおり、明石海峡大橋主塔やMM21横浜ランドマークタワーなど、高さが300m近くにもなる構造物が建設されている。現在、主塔高さが300mを超える超長大吊橋や、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、こうした構造物の高層化は今後もさらに進んでいくと考えられる。

このような高層化した構造物を施工する際には、天候（特に風）が作業性や安全性に大きな影響を及ぼしており、通常の構造物の施工に比して、より一層高度な建設技術が必要になっている。これに対し、当然のことながら、現場では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、工法に関していえば、クレーン等の大型化はあるものの、関門橋や霞が関ビルディングの施工以来、我が国の長大橋梁や超高層ビルの施工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・超高層ビルなど超高層構造物の施工時に、天候状況が作業性や安全性にどのような影響を及ぼしているのかについて現況を把握することとした。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げさせ、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のかについて明らかにすることである。

2. 研究方法

2.1 調査対象

調査対象はTable 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よく管理された現場である。また、Table 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。

これらの現場はTable 1に示すように、①施工前（計画段階）、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の現場では可能な限り作業員からもヒアリング調査を行った。次に、

Table 1 Construction projects selected in the investigation.

調査対象とした現場

Bridge pylons		Height (m)
①In planning	Kurushima (SB)	178
	Tatara (CSB)	220
	Meikohigashi (CSB)	125
②Under construction	*Akashi (SB)	283
	*Tsurumi (CSB)	180
	*Hakucho (SB)	131
	*Meikochuo (CSB)	190
③Constructed	Kanmon (SB)	134
	Higashikobe (CSB)	147
	Rainbow Bridge (SB)	123
Buildings		Height (m)
②Under construction	*Osaka W.T.C. Bld.	252
	Seiroka Garden	200
③Constructed	Landmark Tower	296
	Kasumigaseki Bld.	156

*: Selected sites for the questionnaires

SB: Suspension bridge, CSB: Cable-stayed bridge

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のうち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工事誌^{1),2)}や文献³⁾による調査を行った。また、Table 1に*で示した5現場については、作業員（溶接工、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。

2.2 ヒアリング及び資料・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。

- 1) 天候が作業に与える影響とその対策について
- 2) 施工計画時の天候に対する予測と施工実績について
- 3) 制振装置の作業性に対する効果について
- 4) 作業員側からみた作業環境について
- 5) 天候に左右されない施工のための技術開発について
- 6) 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、及び稼働率の割り出しを行った。

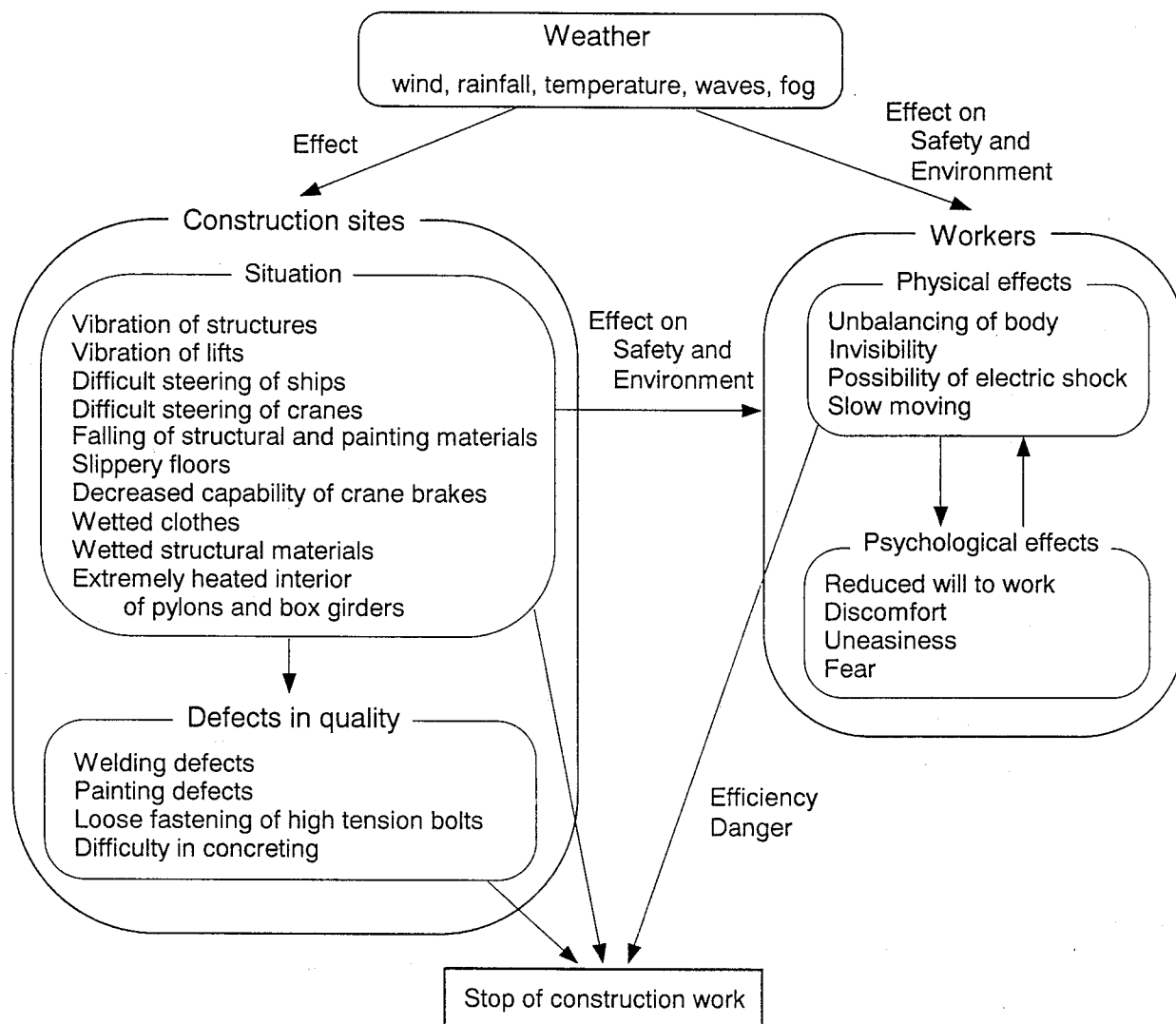


Fig. 1 Effects of weather on construction sites and workers.
天候が建設現場と作業員に及ぼす影響

2.3 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、気温などの天候不良により、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「作業ができない、しづらい」と感じた頻度と、その時に行っていた作業が実際に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。99%の回収率で、回答数は橋梁主塔では176件、超高層ビルでは28件、合計204件であった。

2.4 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。

1) 天候により影響を受ける作業について

2) 天候に対する現場管理者の対応について

3) 天候不良時の作業員の作業環境について

4) 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

2)は現場管理者の立場で、3)は作業員の立場で考察し、1)~3)で調査・分析した結果より4)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及び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、多くの現場で指摘された事項を、Fig. 1に模式図的に表した。

Fig. 1のように、風、雨、気温などの気象要素は現

場と作業員に影響を与える。現場では、この影響により Fig. 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影響が及ぶ場合もある。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 Fig. 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的面と心理面に過剰な負担が生じ、作業員の肉体的な条件によっては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、作業員への心理的な影響のみを考慮して作業が中止になることは基本的にない。

天候不良に対する作業中止の判断や施工計画の変更など、現場管理者の対応については、4 及び 5 章で分析・考察する。また、作業員への心理的な影響は現場の作業環境とも関連するので、6 章で別途取り上げることにする。

4. 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、それをもとに考察した。

- 1) 気象観測方法
- 2) 天候不良時の連絡系統
- 3) 気象観測データをどの程度重要視するか
- 4) 天候不良時の判断過程とその方法及び最終決定者

Fig. 2 は天候不良による作業中止の判断の過程を、模式図化したものである。Fig. 2 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いる。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、現場の状況をもとに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

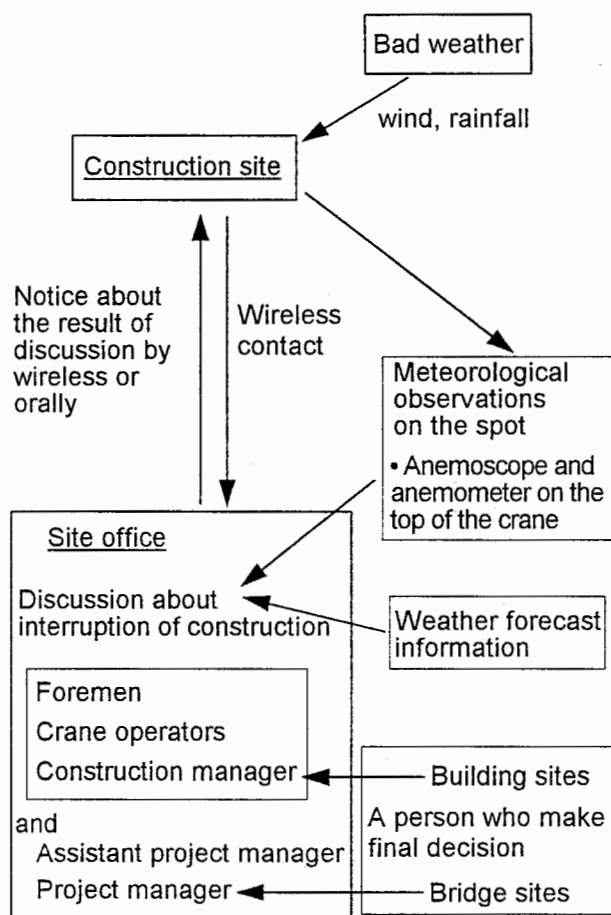


Fig. 2 The process of the judgment on interruption of construction.
作業中止の判断の過程

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、工事課長のほかに、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と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⁴⁾。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思われる。

5. 天候を考慮した施工計画と実績

各構造物の施工計画時に、天候の影響を考慮して稼働率の見積もりをどのようにして行い、また、施工実績はどうであったのかを、次の6項目に分けて調査し、それをもとに考察した。

- 1) 気象データソース
- 2) 不稼働日とする天候の基準

Table 2 Estimation on the influence of weather in construction planning phases.
天候の影響を考慮した施工計画時の見積もり

Factors for estimation	Bridge pylons	Buildings
Weather data	local meteorological observatories	published data by National Astronomical Observatory
Wind	> 10 m/s (10 minutes average)	
Rainfall	different from site to site	> 10 mm per day
Temperature Moisture	not considered	
Holidays	4~6 holidays per 4 weeks	
Seasonal change in climate	not explicitly considered	considered
Accuracy of estimation	rather rough	detailed
Main reasons for estimation	cost estimation	work schedule

- 3) 休日の設定基準
- 4) 稼働率算定精度
- 5) 稼働率算定理由
- 6) 計画時稼働率と実績稼働率との比較

5.1 計画時稼働率の算定方法

施工計画時には積算あるいは工程計画のために稼働率予測算定を行う。Table 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する地方気象台の過去数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1ヶ所の現場で地方気象台と独自の観測データを用いていたが、他の現場は全て国立天文台編の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。

不稼働日とする天候基準のうち強風に関する基準は、橋梁・超高層ビルを問わず、10分間平均風速10 m/sが1つの基準になっており、関門橋及び霞が関ビルディング施工時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どの現場も日降雨量10 mmで一致している。また、気温及び湿度に関しては、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、及び休日と不稼働日が重複し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これを考慮している。重複率の設定方法は橋梁・超高層ビルに限らず、各現場で独自に設定しており、他の項目に比べて現場間でかなりばらつきが大きい。

これらを基にして稼働率を算定する時の精度は、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は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、また超高層ビルは霞が関ビルディング施工時の手法を、それぞれ踏襲している。しかし、稼働率の算定精度については、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適用している現場もある。

5.2 計画時稼働率と実績稼働率

Fig. 3 は、橋梁主塔では塔の架設を、超高層ビルでは鉄骨建方を行っていた期間について、計画時稼働率と実績稼働率を比較したものであるが、Table 1 に示した②と③の現場の中で、稼働率の割り出しが可能であった現場についてのみ示してある。Fig. 3 の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、橋梁主塔B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を算定しているためである。

Fig. 3 によれば、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、D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、過去に建設された霞が関ビルディング(E)を除いて、実績では橋梁主塔施工時より超高層ビル施工時の方が休日率が高い傾向を示している。

天候不良による作業中止日を休日に換算する場合も

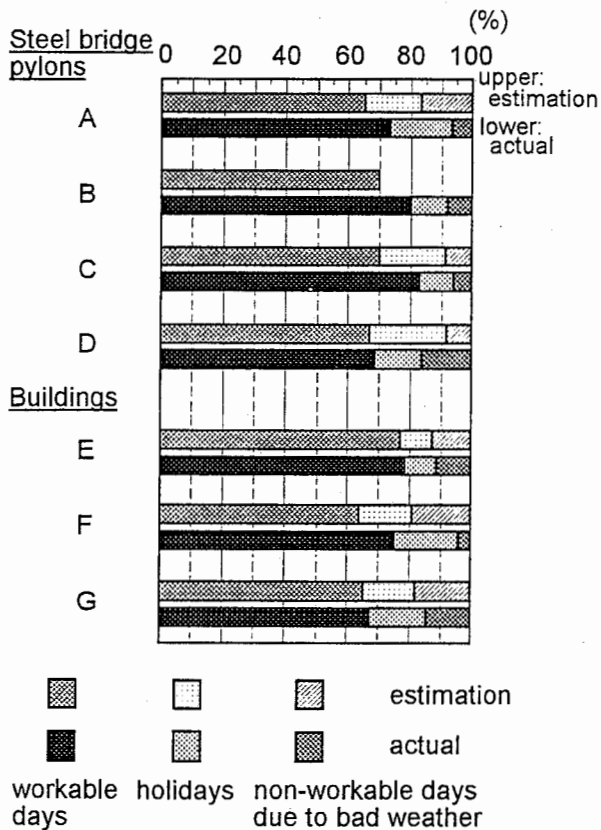


Fig. 3 Construction production; estimation and actual. 計画時と実績稼働率

あるが、ここでは、前もって休日と決められた日のみを休日と考へて考察する。1年間に盆と正月の休日が7日ずつあったと仮定して、4週6休としたときの休日率は23.6%、4週4休では17.0%であるから、橋梁の場合は実績で4週4休を達成していない現場が、Fig. 3の4現場のうち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がある。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定精度がこの原因の1つと考へられる。

5.3 風雨による作業への影響

Fig. 4はFig. 3の天候不良による中止日を風と雨に注目して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(E)では、作業中止日の割合が11.5%とやや高いが、これは当時の安全対策や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へられる。また、橋梁主塔D、超高層ビルG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る。これらは霞が関ビルディングの作業中止日の割合よりはるかに高

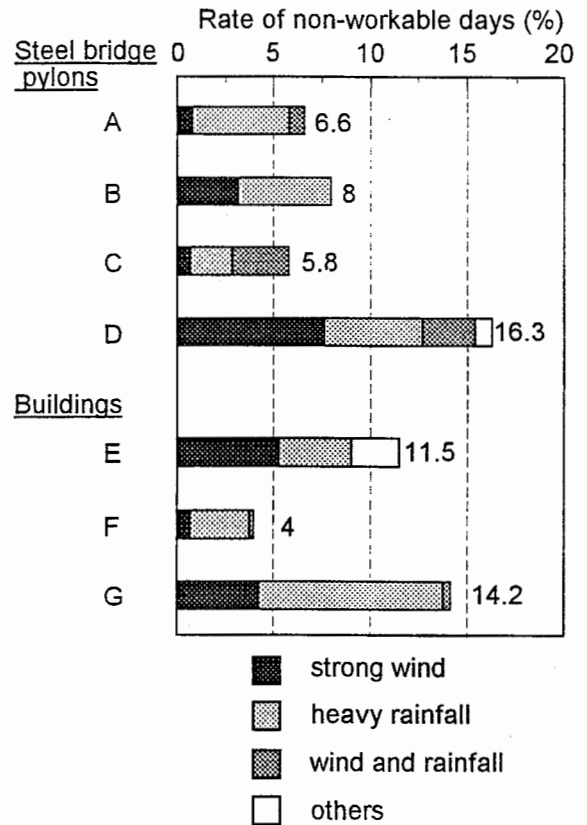


Fig. 4 Details of non-workable days due to bad weather. 天候不良による中止日の内訳

いが、構造物の高さは約2倍の300m近くにもなっており、天候の影響がより大きくなったためと考へられる。これを風雨の内訳でみると、橋梁主塔Dでは風の影響が大きく、超高層ビルGでは雨の影響が大きい⁵⁾。

橋梁主塔と超高層ビルでは施工方法が違いため、天候の影響を受ける作業内容も異なると考へられる。Fig. 5は、作業日誌をもとにして、どのような作業が天候の影響で中止されたかを示したものである。Fig. 5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、橋梁主塔D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全体での天候不良による中止日率は41%もあった。しかし、作業内容全体を考へれば、この現場では雨より風の影響の方が顕著であったことがわかる。一方、超高層ビルGの場合は溶接作業が雨により大きな影響を受けており、全体での天候による中止日率が29%であるのに対し、雨による中止日率だけでも22%もあった。これらの原因と対策について以下に考察する。

橋梁主塔Dの場合は、こ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

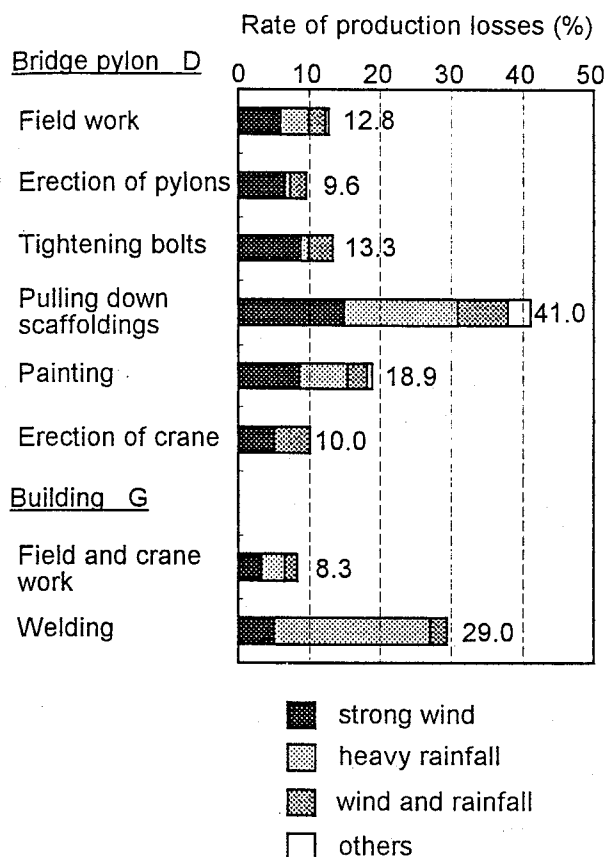


Fig. 5 The rate of production losses; each kind of work.
作業内容ごとの中止日率

われたが、その際には、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である。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、Fig. 5 のように中止日率が非常に大きくなり、Fig. 4 の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のためのゴンドラ作業も増大すると考えられる。これに対し、高所になるほど風の影響は大きくなるため、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ると予想される。この問題の対策としては、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することが一つの方法と思われるが、本質的な解決策としては、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

法を見直すことが必要である。つまり、施工の合理化は設計の問題でもあるといえる。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である⁶⁾。

一方、超高層ビル G 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。溶接作業は雨により特に影響を受けやすいが、Fig. 5 からわかるように、この現場でも非常に大きな影響を受けている。一方、鉄骨の大型ブロック化や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⁷⁾の導入など、この現場では風に対する対策をこれまでの高層構造物以上に行い、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嵩・クレーン作業の影響を、むしろ Fig. 5 に示した程度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、Fig. 4 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、風の影響は高さとともにより大きくなるため、超高層ビル G 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⁸⁾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應できるかどうかの問題として残る。

6. 天候不良時の作業員の作業環境

天候不良時におけ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を中心に作業員の立場に立った姿勢で考察する。

6.1 アンケート回答者の構成

アンケート調査は Table 1 に*印で示した5現場の作業員に対して行った。総回答数は204件であり、回答者の年齢構成、勤続年数を Fig. 6(a)~(c) 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。アンケートの結果もそれを反映している。さらに、勤続年数については Fig. 6(c) より10年未満の作業員が43%にもなり、熟練工が少ないことがうかがえる。

- (a) Age; for present questionnaires
- (b) Age; for all industries⁹⁾
- (c) Continuous service period
- (d) How often have you felt difficult to work because of swing and rotation of the crane load due to strong wind?
- (e) How often was the work interrupted when you felt difficult to work because of swing and rotation of the crane load due to strong wind?
- (f) How often have you felt difficult to work because of wind-induced vibration of the structures? ; bridge pylons
- (g) How often have you felt difficult to work because of wind-induced vibration of the structures? ; buildings

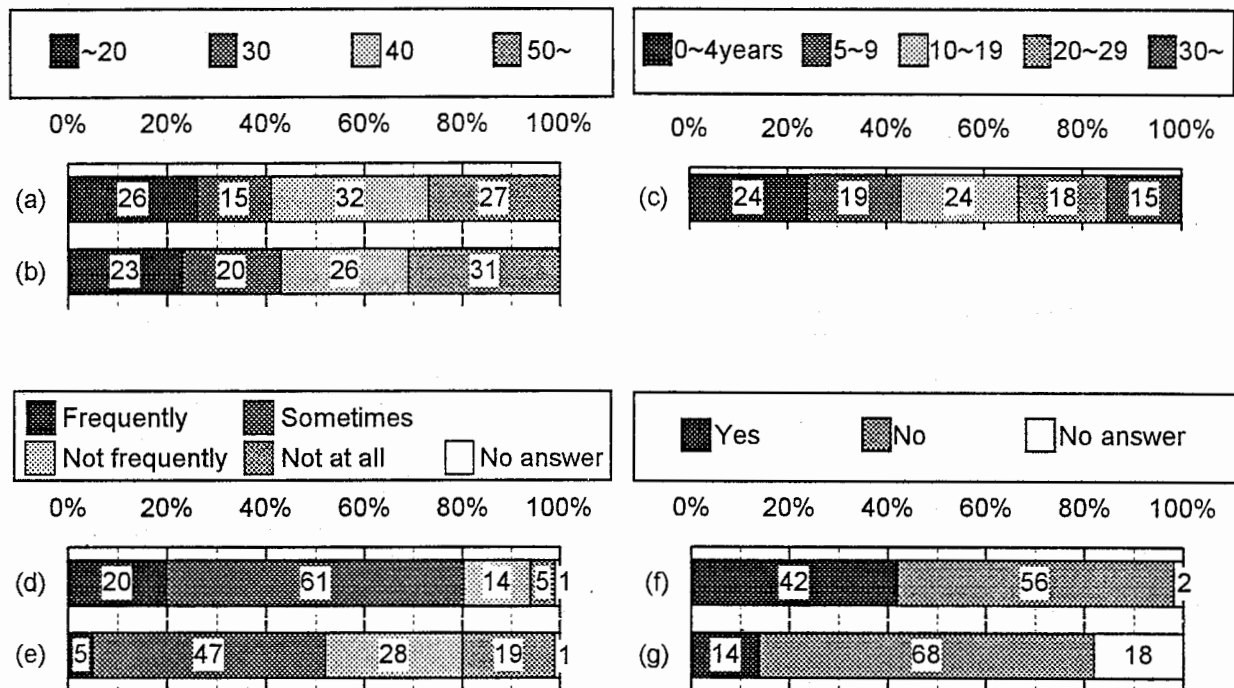


Fig. 6 Results of the questionnaires about age and continuous service period of workers, and influence of weather on crane work and on vibration of structures.

年齢、勤続年数、クレーン作業、揺れに対するアンケート調査の結果

6.2 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。Fig. 6(d) 及び (e) に示すアンケート結果でも、「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%にも達した。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は、「よくある」、「たまにある」と回答した作業員は合計すると 52%にすぎなかった。すなわち、作業員が危険と感じる中で 50%の割合でクレーン作業を続行していたことになる。

強風によるつり荷の振れや回転防止は、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、超高層構造物の施工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時には PC 版の回転を防止するために、つり荷

姿勢制御システム⁷⁾を開発導入し効果を上げている。

一方、PC 版よりも重い重量物を揚重する橋梁工事では、関門橋建設の頃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る振れや回転は生じにくい、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ったとのことである。

こうしたことから、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。

6.3 構造物の揺れ

塔状構造物の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

- (h) How often have you felt difficult to work because of losing balance by strong wind?
 (i) How often have you felt difficult to work because of slipping of your hands and feet by heavy rainfall?
 (j) How often have you felt difficult to work because of too hot temperature?
 (k) How often have you felt difficult to work because of too cold temperature?
 (l) How often was the work interrupted when you felt difficult to work because of losing balance by strong wind?
 (m) How often was the work interrupted when you felt difficult to work because of slipping of your hands and feet by heavy rainfall?
 (n) How often was the work interrupted when you felt difficult to work because of too hot temperature?
 (o) How often was the work interrupted when you felt difficult to work because of too cold temperature?

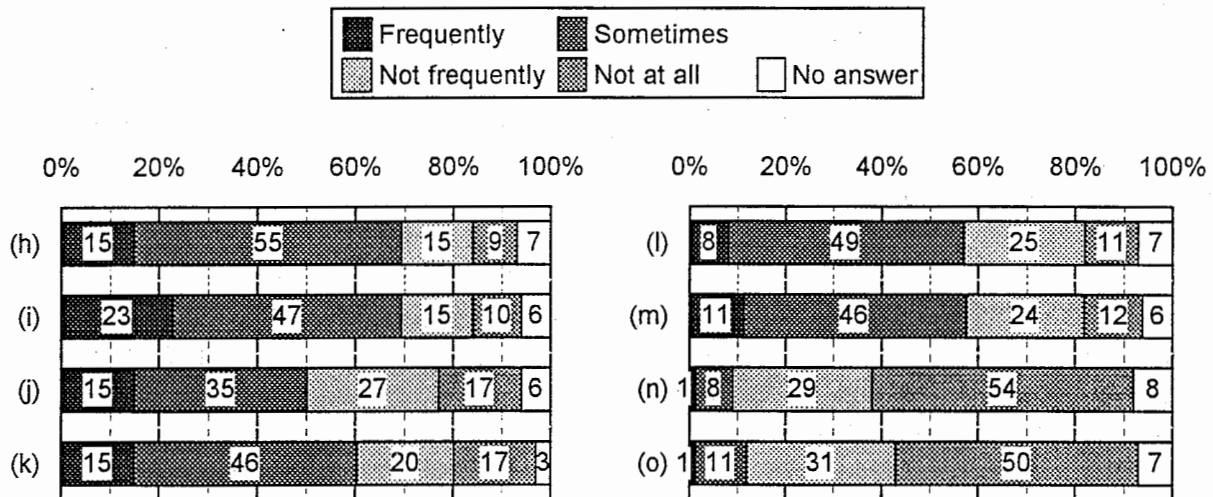


Fig. 7 Results of the questionnaires about influence of wind, rainfall, and ambient temperature.
 風、雨、暑さ、寒さが作業に及ぼす影響に関するアンケート調査の結果

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大きい。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、技術的に見ても一定の成果を上げている。しかし、Fig. 6(f) 及び (g) に示したアンケート調査結果では、橋梁の場合には制振しているにもかかわらず、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 に設定している現場と 50gal に設定している現場の 2 つに分かれている。この 50gal という値は ISO2631 及び同 6897 の振動限度度を主に参考にしたものである。しかし、この限度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 20gal に当初設定していたが、塔の揺れにより溶接作業に支障が出たため、トリガーレベルを 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。

6.4 風、雨、暑さ及び寒さに対する作業環境

Fig. 7 に示すアンケート調査結果から、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いずれも 70% あった。さらに、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いずれも 57% であった。同様に、暑すぎる、寒すぎる場合については「作業しづらい」と思ったことが「よくある」、「たまにある」人の合計はそれぞれ 50 及び 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「よくある」、「たまにある」人の合計はそれぞれ 9 及び 12% しかなかった。

こうしたことから、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対する場合に比べれば、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」また

は「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に作業員の作業性に大きな影響を与えているが、その影響にもかかわらず、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¹⁰⁾。

現場では作業員の休憩所に空調設備を設置するなど暑さ寒さ対策を講じている。しかし、実際に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十分な解決策を必ずしもとっていないのが現状である。

7. まとめ

超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、工事誌などの資料や文献の調査によってヒアリング及びアンケート調査結果を補完した。

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などについて分析した結果、以下のようなことが明らかになった。

- 1) 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、トンネル工事などで発生しており、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。
- 2) 施工計画時の天候に対する稼働率算定は、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、橋梁の稼働率の算定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適用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、稼働率の算定精度がこの原因の1つと考えられる。
- 3) 橋梁主塔や超高層ビルで高さが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よる影響を調べた結果、橋梁主塔の場合、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、超高層ビルの場合は、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。

- 4) 作業員へのアンケート調査で最も危険を感じると指摘されたのが、クレーンのつり荷の振れと回転であった。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て効果を上げていた。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。
- 5) 超高層化した橋梁主塔の施工時には、強風により構造物の揺れが発生する。現場ではこの問題の解決手段として制振装置を設置し、技術的に見て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」により作業しづらいと思った時に、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、「よくある」、「たまにある」と回答した作業員は、「風、雨」の場合どちらも合計で57%であった。しかし、「暑さ、寒さ」に対しては、それぞれ9及び12%しかなかった。この結果から、「風、雨」に比べ、「暑さ、寒さ」は現場でほとんど配慮されていないことがわかった。

謝 辞

本研究を行うにあたって貴重な御意見をいただいた、東京大学工学部土木工学科の藤野陽三教授に深くお礼を申し上げます。また、現場調査やアンケート調査に御協力いただいた、東京工業大学工学部土木工学科の庄司 学助手に感謝の意を表したいと思います。

現場調査では、橋梁及び超高層ビルの建設工事関係各位に貴重な御意見や資料をいただき、アンケート調査にも御協力いただきました。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, pp.57~69, 日本道路公団福岡管理局 (1977).
- 2) 霞が関ビル建設委員会監修, 霞が関ビルディング, pp.54~64, 三井不動産株式会社 (1968).
- 3) 武藤 清監修・二階 盛編, 超高層建築4施工編, pp.209~295, 鹿島出版会 (1972).
- 4) 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).
- 5) 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).
- 6) 藤野・長井, 吊形式橋梁の現状と将来, 鋼構造論文集, 1-3, pp.17~35, JSSC (1994).
- 7) 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, 464, pp.33~41 (1992).
- 8) 羽切ら, 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).
- 9) 総務庁統計局編, 日本の統計 1992/93, pp.28~29, 大蔵省印刷局 (1993).
- 10) 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).

(平成8年5月10日受理)