

〔特別講演〕

鋼構造物の架設について

名古屋大学工学部 菊 池 洋 一

1 概 説

鋼橋の完成後の事故に関しては、風、地震、洪水、津波などの自然災害によるもの、老朽腐蝕によるもの、過載荷重によるもの、設計、製作上起因するもの、低温脆性破壊、疲労破壊などが考えられる。

これらの問題に対して、安全な構造、耐久性を有し妥当な強度を有する橋梁の計画、設計、製作を行なうため、種々な研究が行なわれるとともに、永年の経験を生しての示方書、基準が定められている。これらの設計、製作に関する基準類は、改訂が行なわれるごとに、より厳密に、よりきめ細く定められ、鋼橋の設計、製作を合理的に行なうようになってきている。

これに反し、施工中の事故、架設中の事故、破壊は後を断たず、特に最近の諸外国において相ついで生じた鋼製ボックスガーターの落橋事故は種々の問題を含んでおり、各国で事故原因の究明、対策が検討されている。

わが国においても、鋼橋の事故の大半が架設時に発生している現況からしても、架設の安全性に関して再検討を行なう必要があると考えられる。この鋼橋の架設時の事故の主な原因として考えられるものとして、次の諸項目が考えられる。

- (1) 架設計画と設計の不備
- (2) 架設工事の契約方式
- (3) 架設作業上のミス
- (4) 架設技術者の問題
- (5) 仮設構造物と架設機材の問題
- (6) 自然現象によるもの

一方、鋼橋の大規模化、複雑化の傾向が著しく、新形式の構造のもの、高強度の鋼材を使用したものなどが数多く建設されてゆく現段階において、鋼構造物の架設に関して、統一的な取扱い方法を明確にし、架設の安全性を高めるため、計画、設計、施工において一般に準拠できる技術基準の作成が必要であると思われる。

2. 架設工事の問題点

2-1 架設工事の計画

架設計画立案時には、十分な予備調査が行なわれない場合が多く、現地条件が不明なまま計画がたえられる場合が多い。架設の計画は、その設計条件が多岐にわたり複雑であり、しかも明確な基準などがなく、参考とすべき資料が少ないことと、有能な熟練した技術者が計画を行なう場合がまれであり、最適な架設計画、設計が行なわれていない。

十分な調査、計画、設計が行なわれていないまま、橋梁架設工事が発注される場合は、いわゆる契約後打合せ方式に依存せざるを得ない。この場合は、工費積算を行なうこと自体に問題があり、契約後調査が進み、現地の条件が明確になるほど、契約後打合せを行なうたびに工費が増大する傾向になると考えられる。

架設工事においては、工事の進行とともに橋梁構造が変化してゆき、一時的に大荷重を受けることが多い。そのため、きわめて短期間荷重を受けもてばよい仮設構造物、架設機材などは安全度を小にとる傾向がある。不十分な架設設計でしかも経済性にしばられる場合は危険度が増大する恐れがあり、十分注意を要する。

2-2 架設時の安全度

鋼橋の事故、破壊は、床板の破損を除いては、完成後のものは殆んどなく、その大半が架設中に生じていることは、完成後の鋼橋の安全度はきわめて高く、架設時の安全度が著しく小であることを意味している。

架設時に橋梁本体および仮設構造物に作用する荷重をどの程度にとるか明確でない。完成後の橋梁の設計荷重は、考えられる最悪条件の最大荷重をとることを前提としているが、架設時に最悪条件の最大荷重をとることは一般に行なわれていない。

架設される橋梁本体の自重などの明確なものから、地中のアンカー、クイなどに作用する土圧、架設作業中に生ずる衝撃、仮受け支点の沈下によるアンバランス荷重など明白でないものが多い。仮に架設荷重を明確に定めたとしても、計算に使用する安全率、許容応力の定め方によって、架設の安全性は左右される。架設設計の条件が不明確なため、明らかに危険と考えられる場合もしばしば見受けられ、まれには不必要に安全度の高い仮設構造物を使用している例が見られ、架設時の安全度はまちまちで様でない。

2-3 仮設構造物と架設機材

仮設構造物は一時的に大荷重を受ける場合が多いため、十分な安全度を有する設計が行なわれていない場合がある。特に、支承部は地盤の調査が不十分であったり、地耐力が判明していても永久構造に比べ、完全な基礎が設けられない場合が多く、架設中に降雨による地盤のゆるみを生じ、事故を招いている例が見られる。

仮設構造物、架設機材は既設のものを使用する場合が多く、変形、腐蝕などにより耐荷力が減少している場合があり、修理、補強または損傷度を考慮しての耐荷力算定による安全度の確認が必要である。

架設機材においては、吊金具などの事故が多く見られるが、小さな機材であっても大きな荷重を受け持つものに対しては特に入念な強度照査、製作が必要である。

2-4 橋梁技術者

橋梁技術に携わる土木技術者の中で、橋梁本体の設計および研究業務に従事するものが、きわめて多く、製作、架設関係に従事する者は極端に少ない。橋梁設計においては、設計計算に対してのコンピューターの使用が普遍化して、設計計算のプログラム開発を除いては、橋梁技術者の技術的能力を発揮する余地が少なくなっている。

橋梁の架設工事は、構造物の大形化、複雑化とともに、都市内の架橋工事など、安全に最良に近い方法で工事を完遂するには、架設計画、設計、施工に対し、広範囲な知識と経験とを有する有能な技術者が多数必要と思われる。

橋梁技術者の絶対数は10～20年前に比し著しく増加していると思われるが、架設に携わる技術者は増加せず、架設担当技術者は数箇所架設現場を兼務するような状況が見られる。この技術者の不足が橋梁架設中の事故、または事故にならない事故の連続を招いているものと思われる。

3. 架設中の事故および施工例

3-1 架設中の事故例

橋梁架設の事故がどのような原因で発生しているかを知ることは、事故防止対策上、また、架設に関する技術基準作成に関する資料として重要であると考えられるので、調査を行なった。

表-1 代表的事故例

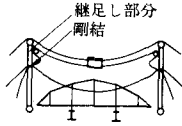
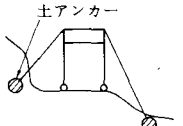
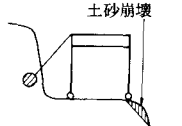
事故の分類	A 本体の問題	B 架設機材の問題	C 計画上の問題	E 作業上の問題	F 自然現象の問題
構造型式	逆台形箱ゲタ	トラスドラングゲタ	曲線箱ゲタ	単純合成ゲタ	3径間連続トラス
支間	72m+96m+72m	140m	36m	34m	40m+60m+40m
架設工法	—————	吊下工法	ケーブルクレーン、ステージング工法	ケーブルクレーン、引出し工法	ケーブルクレーン、引出し工法
代表的事故例の状況と原因	状況 床版コンクリートの最終ブロックを打設後、支点上ダイヤフラム、下フランジ、および腹板が局部座屈し、ゲタがたれ下った。 原因 ○支点上ダイヤフラムの補剛不足 ○腹板の傾斜によって生ずる下フランジの横方向圧縮力に対する考慮不足	 状況 タワー高さの不足により、継ぎ足しをして架設中タワーが座屈 原因 継ぎ足し部の連結を剛結にしたため、タワーに曲げモーメントが作用した	 状況 ゲタを運搬中タワーが転倒 原因 土アンカーの耐力不足	状況 主ゲタの引出し完了後横引き中に主ゲタの左右の移動量が大きく異なり、控索がはずれゲタが転倒 原因 不注意な横引き作業	 状況 連続降雨により、タワー基部の土砂が崩壊しタワーが傾斜 原因 架設計画時に自然条件のは握が十分でなかった

表-2 事故例の主原因

事故の分類	A 本体の問題	B 架設機材の問題	C 計画上の問題	E 作業上の問題	F 自然現象による問題
表-1 以外の事故 例の主原因	○逆台形箱ゲタにコンクリート床版を打設中主ゲタ圧縮フランジの座屈	○吊下工法のタワーステールワイヤーの取付け金具破断 ○吊下工法の吊索受バリの転倒 ○吊下工法のタワーステールワイヤーのアンカー部定着金物のすべり出し ○木製ジャッキ受台の沈下 ○チェンブロック取付け金具の破断 ○軌条バリの横倒れ座屈 ○吊索クリップの滑動 ○引出しローラー受台に水平力を考慮しなかったため転倒 ○トラッククレーンライニングの磨耗によりブロック落下	○引出し架設時の反力誤差を考慮しなかったため、カウンターウエイに用いた主ゲタと引出しゲタとの連結部分のフランジが横倒れ座屈 ○吊下工法のタワーの断面力の計算時に控索角度を誤ったため、タワーの強度が不足し座屈 ○吊下工法のタワーステールのPアンカーが抜けて落橋。	○ジャッキの不均衡降下によりゲタが転倒 ○橋梁上を進行してきた他の重車両の振動によりクレーン車が傾斜 ○荷おろし中ハッカー1個を使用してゲタを吊上げ、トラッククレーンを旋回したため、ゲタが落下 ○トラッククレーンの作業半径を越えたためクレーン転倒 ○側方ステアーのないタワーを持つ、ケーブルクレーンでゲタを相吊りしたためタワーに曲げモーメントが作用しタワー座屈 ○受台とゲタの重心が偏心したため受台がくずれ、ゲタが転倒	○台風に伴う降雨により、地盤が悪化し、タワー基部が沈下したため、タワーが転倒 ○ゲタの地組中、凍結地盤がとけてジャッキ受台が沈下しゲタが傾斜 ○トラッククレーンで架設中風の影響によりクレーン転倒

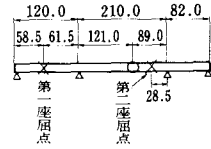
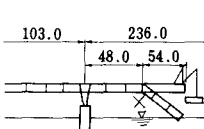
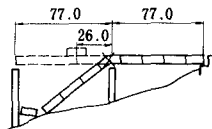
事故の原因を大別すると架設工事の計画の不備によるものと架設作業上の問題とに分けられるが、これをさらに次のように分類して整理した。

- A 本体設計上の問題
- B 仮設構造物、架設機材の設計上の問題
- C 架設計画上の問題
- D 製作上の問題
- E 架設作業上の問題
- F 自然現象に起因するもの

この分類により国内の事故例の調査結果を表－１および表－２に示す。

海外における最近の事故例としては、１９６７年から１９７１年にかけて、ドイツ、イギリス、オーストリア、オーストラリアで、長大ボックスガーターの一連の落橋事故があり、すでに種々の文献に報告されているが、代表的なものを表－３に示した。

表－３ 海外の事故例

		①	②	③	④
橋 名		新ウィーンナウ橋	コブレンツ橋	ミルフォードヘブン橋	ウェストゲート橋
国 名		オーストリア	西ドイツ	イギリス	オーストラリア
事故発生年月		１９６９年１１月	１９７１年１１月	１９７０年６月	１９７０年１０月
構 造 型 式		３径間連続２箱ゲタ鋼床版	３径間逆台形１箱鋼床版	７径間連続逆台形１箱鋼床版	単純逆台形１箱鋼床版
架 設 工 法		キャンチレバー工法	キャンチレバー工法	キャンチレバー工法	半割ゲター括吊上工法
事 故 状 況					
推 定 間 接 原 因	直接原因	主ゲタ下フランジ（×印部分）の座屈	主ゲタ圧縮フランジの座屈	中間支点上ダイヤフラムおよび圧縮フランジの座屈	主ゲタ圧縮フランジ（上フランジ）の座屈
	設計	○架設時荷重の推定ミス ○日照による応力の推定ミス	○圧縮フランジとリブの溶接継手の構造不適当	○支点上ダイヤフラムの強度不足	○上フランジの自由突出脚長が長すぎた
	製作	○製作誤差による座屈耐力の低下	○製作誤差および残留応力などの影響による座屈耐力の低下	○製作誤差による座屈耐力の低下	
	架設			○負反力止めのボルトが強く締めつけられていたことなどの作業上のミス	○架設計画の不備、初期の異常に対する不適当な処置
	契約			○責任所在の不明確な契約方式	○責任所在の不明確な契約方式

この直接原因の多くは、主ゲタフランジの座屈であり、このフランジ座屈を生じさせた間接原因としては、架設荷重の推定ミス、構造上の問題、ダイヤフラムの強度不足、圧縮フランジの自由突出脚の長さ、製作誤差、残留応力、架設作業上の問題、責任所在の不明確な契約方式などが挙げられており、その個々の原因についての調査、研究、検討が行なわれている。

3-2 架設施工例

従来の鋼橋の架設においては、準拠すべき明確な技術基準が定められていないために、各々の架設工事が独自に計画され施工されており、仮設構造物についても、作用荷重、安全率などの取扱いが一定していないと推測される。

架設施工例として鋼橋の架設を各工法別に調査整理を行ない、その一部の図表化を行なった。表-4にベント、タワーについて、設計荷重、種類と大きさ、荷重の組合せと許容応力度、安全率などが、実際の架設計画でどのように扱われているかを示した。

4. 架設計画、架設工事の留意点

鋼橋架設の事故例、施工例などよりして、多くの問題点が考えられるが、現在の時点において、事故なく安全に鋼橋の架設工事を行なうために必要な架設計画および架設工事の留意点を挙げると次の通りである。

4-1 架設計画のチェックポイント

架設工事を行なう際には、事前に十分な調査、準備を行なう必要があり、図-1の①～⑥にチェックポイントを示した。

①について：架設担当者は、橋梁設計、架設計画がいかなる考えで行なわれたか、設計者、計画者と十分密な連絡を取り、意思疎通を図る必要がある。

②について：架設計画が現地条件に適合できるか検討し、設計条件との違いがないか確認する。特に自然条件は入念に調査する。適合しない場合は再計算あるいは計画変更、また設計変更を行なう。

③について：設計時においては、完成後についてのみの計算を行なっている場合が多いが、架設時の各段階について架設計算を行なう。

④について：仮設構造物の設計荷重、基礎地盤の

表-4 ベントタワー施工例

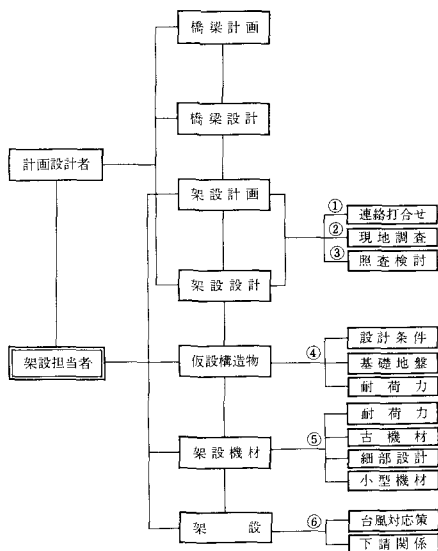
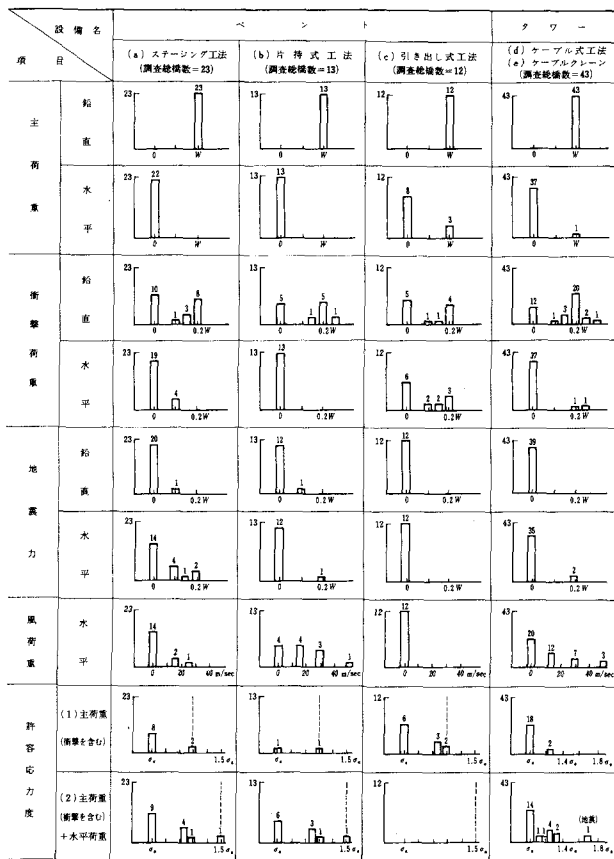


図-1 架設前のチェックポイント

再検討を行ない、その耐荷力の照査確認を行なう。
とくに、構造に古機材を使用した場合に注意を要する。

⑤について：架設機材の点検を行ない、耐荷力が架設条件に適合しているか細部までチェックする。古機材の場合は、損傷度、腐蝕を確認し、修理または補強するか、場合によって変更する。なお、門構、ケーブル、ペント、ワイヤロープ、アンカー、キャリアー、吊金具はとくに安全度の確認に注意を要する。

⑥について：通常、台風期を避けて行なうが、やむを得ない場合に台風対応策、また強風に関して架設作業の風速制限を定める。下請との関連、労務者の生活環境などの確認を行なう。

4-2 架設工事のチェックポイント

架設工事中に検討しなければならない事項は多数あるが、その主なものを図-2の①～⑪に示した。

①について：現地において、地形条件、自然条件と架設条件との再検討を行ない、計画変更が必要かどうか調査する。

②について：下部構造の測量を行ない、支間、中心線、縦断勾配、支承位置などについて、上部構造との関連を照査する。

③について：架設工事が鉄道、道路、河川、建築物などと関連を生じる場合に、関係機関との協議が必要である。とくに鉄道、道路上の工事には万全の防護施設が必要であり、場合によっては工事期間に制約を受けることがあり、関係機関と協議、決定する必要がある。

④について：工場製作完了時の仮組立検査に立会して、組立順序、継手部、組立符号、製作誤差の確認を行なう。

⑤について：架設工事に支障ないように、輸送、搬入、部材置場などを定める。

⑥について：基礎の不等沈下、構造の変形などによる不均等な荷重、または衝撃などによる設計荷重以上載荷される恐れのある場合は耐荷力を検討する。

⑦について：架設機材が計画どおり搬入されたか確認し、その機能および強度を細部にいたるまでチェックを行なう。なお架設が長期にわたる時は定期的な検査が必要である。

⑧について：架設担当者は常時設計者、発注者と密接な連絡をとり、変形、変状の調査は入念に行ない、安全な工事を遂行すること。溶接部、高力ボルト継手部はチェックを完全に行なうこと。

タワミ測定は各段階を定めて行ない、計算値との確認を行なって異常の場合はすみやかに処置をとること。

⑨について：床板コンクリート施工に当っては、型ワク強度、鉄筋配置の確認を行ない、良質のコンクリートをとくに入念な施工を行なうこと。

⑩について：塗装に関しては、使用材料の検討、塗膜のチェックを行なうこと。

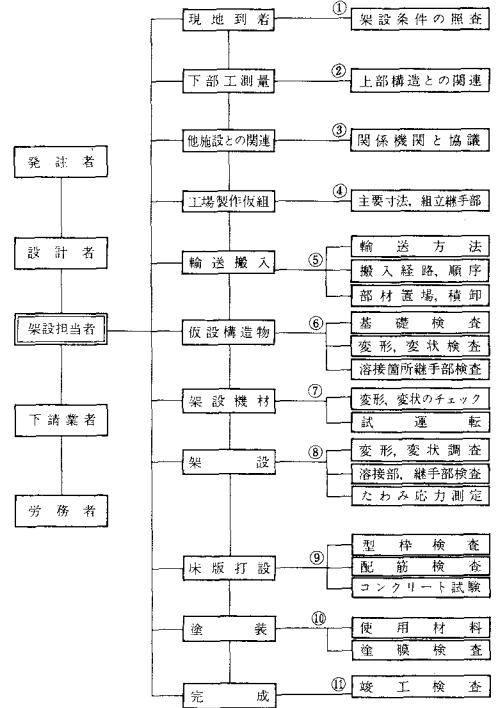


図-2 架設中のチェックポイント

⑪について：竣工に当っては、キャンバー、変状、変形、寸法、精度などのチェックを行なう。

5. 結 語

架設時の構造本体および仮設構造物の安全度は既述のようにまちまちであり、架設中の事故または報告されていない事故、いわゆる事故にならない事故が連続して発生している現況である。この原因として、架設の計画設計の不備なもの、検討すべき照査を怠っている場合、さらに架設を担当する技術者の不足による作業上のミスなどが考えられる。

鋼構造物の架設工事の安全性を高めるには、計画、設計、施工に関して、一般的に準拠すべき技術基準の作成が必要であると思われる。架設工事は、構造物の種類、規模、地形、自然条件、工法などにより、その条件が多岐にわたり、そのすべてを統一して明確な基準で取扱うことは非常に困難であり、すべてを網羅すると全体が不明確となり易い。

しかし乍ら、一定の架設基準を定め、この運用に架設物の特殊条件を追加示方書で補うなどの配慮が行なわれれば、架設工事の安全性を高め、さらに仮設構造物、架設機材の標準化も考えられ、これらに関連しての架設事故の減少に役立つものと考えられる。