

論 說 報 告

第 27 卷 第 10 號 昭和 16 年 10 月

耐弾性新型長大徑間の橋梁に就て

正會員 工學博士 鷹 部 屋 福 平*

要旨 本文は耐弾効果を目的とした長大徑間の橋梁に對して、連続構造と吊橋構造とを併用したラーメン型構橋を提案したものであつて、成るべく部材の数を減少せしめ多數の細材を用ふるよりも、これを集成して少數の強剛部材を用ひんと企圖したものであり、萬一の爆撃被害に對しては、吊材作用と連続構造の突桁作用を有効に利用せんとしたものである。

目 次

- | | |
|------------------|--------------------|
| 1. 緒 論 | 4. 局部的破壊に對する耐弾性 |
| 2. 耐弾式新型橋梁 | (1) 主構部材の破壊に關する安定性 |
| 3. 新型橋梁の特徴 | (2) 吊材の破壊に關する安定性 |
| (1) 耐弾の特徴 | (3) 吊材の破壊に關する安定性 |
| (2) 構造並に架設に於ける特徴 | (4) 支承部分の破壊に關する安定性 |
| | 5. 結 語 |

1. 緒 論

戦時下に於ける國防技術の總動員に依つて、防空土木建築の技術對策が、斯くも眞剣に考究せられたことは、未だ曾て經驗を見ないところである。

緊迫せる現下の國際狀勢にあつては勿論、鋼材を使用せざる技術對策が必要ではあるが、他方又それと同時に科學的に考察して、時代に先行したる工學技術にも進むべきである。

即ち、將來に於て、鋼材豊富なる使用を許容されたる時代をも考慮したる上に於て、今後遠き將來に對する革新構法が考究せらるゝの必要がある。

然る場合に於ても、立體戰術の擴大進展と共に、防空強化の緊要なるは贅言を要せざるところであり、國家的重要性を有する緊要構造物が、耐弾的對策を目標として再検討せらるべきは、防空土木技術上の重要な急務である。

敵機爆撃の目標としては、廣汎なる軍事施設、工業的施設に次いで、運輸交通幹線連絡の破壊を目的とする重要停車場並に長大橋梁の空爆が考へられる。

橋梁部門に於ける企畫設計に對して考慮せらるべきことは、短徑間橋梁に就ては修理の容易性が主眼とせられ、被害範圍の局限が考慮せられて居る¹⁾。

又、局部的破壊が、全體的崩壊を誘導せざる爲めには、隣接徑間にまたがつた連続鉸桁の如き不靜定桁橋が適正妥當と考へられ、橋體の生命である主桁を防護する上からは、下路式鉸桁を避けて上路式なる多主桁型を選定して居る。

* 北海道帝國大學教授

1) 防空土木一般指導要領(内務省), 10, 橋梁の部參照

細部の構造としては、鉸結合が適當と考へられ、ピン結合を不適と考へて極力これを避けて居る。

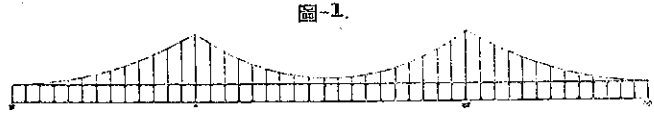
是等の觀點よりすれば、將來性ある鋼橋は總て短徑間鉸桁又は連續鉸桁橋の如きに落付くのであるが、重要幹線上の長大橋に對しては如何にすべきであるか問題となるのである。

即ち、長大径間の橋梁にあつては、極力、耐弾的に強剛に、容易に崩壊せざることを眼目として企畫設計せらるべきである。

本文は、是等のうち、耐弾的の考慮の下に企畫提案した長大径間の新型橋梁に就て、その特徴を論述したものである。

2. 耐弾式新型橋梁

茲に耐弾式新型橋梁と呼ぶものは、防犯上の考慮の下に、長大径間の重要橋梁に企畫提案したものであつて、**圖-1**に



示す如くラーメン構橋即ちフィーレンディール型橋梁を外的に補強して連續式となし、更にこれを吊橋式に耐弾補強して內的に一層不靜定構造たらしめたものである。

以來、ラーメン構橋には、これを連續的ならしめて外的に不靜定性を増加せしめた例なく、又これを吊材にて懸垂して吊橋構造たらしめ、內的に一層その不靜定性を濃厚ならしめた例もない。

フィーレンディール型構橋は、それ自體に於て、高次の不靜定量を包含し、その理論的解析は今日まで、甚だ複雑なるものと考へられて來た。

然るに、この種剛節構造の取扱が、近時甚だ簡易化せられたる結果として、その計算必ずしも甚だ複雑煩瑣なるものに非ず。應力上の明快性は、二次應力の算定を不明瞭ならしむる不完全剛節のラチスガーダー型構橋に比して著つて優れたるものと考へられる位である。

耐弾目的の上より、ピン連結を絶対に避くべき構法に對しては、剛節構造こそ、製作と計算の基調として考ふべきものであり、剛節構造の理論に出發點を置くべきが妥當と考へられるのである。

軍事上は勿論、運輸交通上の重要幹線にあたる長大橋梁は、その數甚だ多いものではない。

重要性に應じ、その比較的少數なる長大重要徑間に對して、計算と製作とに充分なる科學の力を傾倒し、『時』と『資材』とを惜むことなく、その目的完遂に向つて企畫設計せらるべきである。

3. 新型橋梁の特徴

1. 耐弾的特徴

耐弾橋梁としての特殊性ある本橋梁に、ラーメン構橋を特に選定し、これを連續構造たらしめ、且つ吊橋式とした所以のものは、次の理由に基くものである。

(a) ラーメン構橋には斜材がない

ラーメン構橋即ちフィーレンディール型構橋には斜材を有せざるを以て、爆彈の命中率は、斜材其他、多數の過剩部材を有する構橋よりも遙かに小なるものである。

(b) ラーメン構橋の接合點は完全剛結である

2) 複式構造による同種のものに三瀬博士案の耐弾橋梁があり、昭和 15 年工學會大會に於て發表を見て居る。

圖-2.

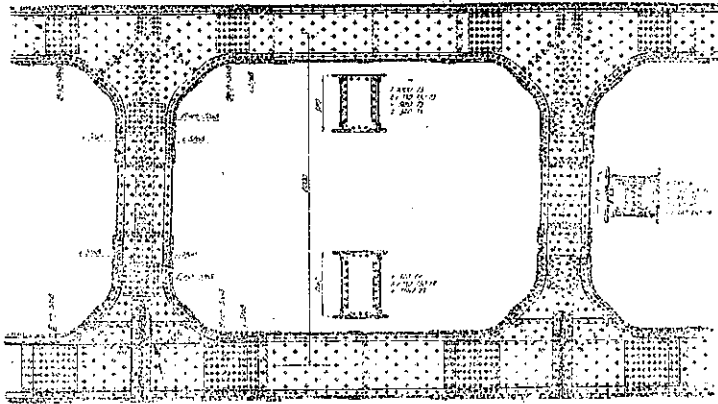
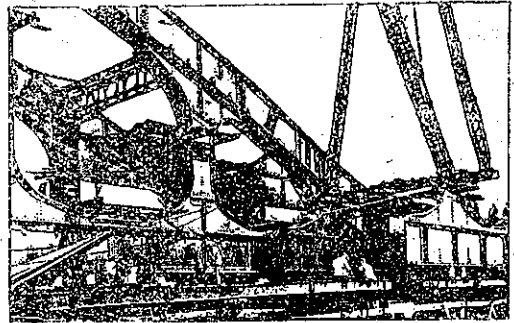


圖-3.



耐弾橋梁が具備しなければならぬ重要条件は、各部材間の接合点が強剛に相互連結せられて居ることである³⁾。

即ち耐弾橋梁には、ピン結合を許容せず、鉄結合をよしとするが、鉄結合よりも、ラーメン構造は完全剛節構造なるを以て、更に一層耐弾目的に合致するものである。

圖-2 及び 圖-3 に示すものはラーメン構橋に於ける接合点の一例を示すものである。

(c) ラーメン構橋には繊細な部材が殆んど含まれて居ない

繊細な部材が網目の様に張られた構造では、爆弾の命中率増加と同時に、その脆弱性に基因して破折度も増大する。ラーメン構橋が、耐弾的に優れて居る様に考へられるところは、脆弱部材を集結して強剛部材の少数に材料を集中置換することにある。

(d) ラーメン構橋には上部横構の斜材がない

ラーメン構橋は、その剛節点の強剛性より上部横構に斜材を省略するものが多い。これが爲め、斜材の多い上部横構が通行時に暗い感じを與へるのに比較して、明るい感じが得られ、且つ材料の節約と共に、爆弾命中率も少い。

(e) ラーメン構橋の部材は肥大強剛ならしめ、特殊の鋼断面を使用する

即ち爆弾の直撃を困難ならしむる様、特殊型断面を考慮する時は、爆弾が部材断面の真中に命中せぬ限り、弾を側面にうけて、たとへるとするも、他方にそれるのではないかと想像される。

(f) ラーメン構橋は連続構造である

提案のラーメン構橋は3径間にまたがった連続構造である爲め、不静定性を一段と濃厚ならしむるものであるが、材料が経済的となる利益がある。

この連続性を附與することにより、本橋は耐弾的に外的補強をうけることになる。

(g) 本ラーメン構橋は連続構造なる爲めに、中間橋脚上の支承構造はその左右の構桁に對し唯一つですむ利点がある

3) 防空土木一般指導要領、(内務省)、10、橋梁の部参照

即ち、下部構造の支承面積を広く且つ有効適切に耐弾目的のために利用し得る利がある。

(h) 本ラーメン構橋は、連続構造であるために、その一部分が爆弾のために破損せらるゝも、他径間との連続性によつて、安定を保持し、その突桁作用に因つて崩壊を免れ得る

(i) 本ラーメン構橋は吊橋構造なるを以て、連続構造による足場なしの架設法を更に一段と補助することが出来る

(j) 本ラーメン構橋は、その連続性に因つて第一段の耐弾的補強性を附與せられるが、更に之を吊橋構造ならしむることにより、内的に第二段の補強性を與へられる

(k) この新型橋梁は、吊橋式に補強してあるから主構が1径間に於て、2ヶ所以上の破損を受けた場合に於ても、これを吊材と吊弦材によつて協力、その安定を保持し、危機を脱せしむることが可能である

(l) この新型橋梁は、吊材及び吊弦材の設計には、活荷重の一部を負担せしめる設計とする

即ち、活荷重によりラーメン構橋は或る程度の撓度を生ずるが、吊材と構橋上弦材の結合部の特殊構造により、活荷重による或る撓度までは、吊材に應力が作用しない様にする。

換言すれば、活荷重の或る値までは、ラーメン構桁のみで抵抗し、吊材には應力の誘導をみない構造を與へる。

即ち、吊橋構造は第二次的のもので、連続構橋たることが、平時に於ける主たる機能である。

(m) 新型橋梁は吊橋式多径間に互るものなるを以て、美觀上よりするも優秀と考へられる

2. 構造竝に架設に於ける特徴

本橋梁は、連続構造なるを以て橋脚の沈下に因る曲げモーメント應力が懸念されるが、これが對策としては、橋脚上支承部分に填材装置を設け、沈下調整に備へ、支承部に補整を行はしめる。

本橋梁は突桁式架設法たることを第一次的とし、前記の如く吊材利用は第二次的とする。

美觀上よりすれば 中央径間は側径間に比して遙かに大ならしむるをよしとするが、防空耐弾的觀點よりすれば連続構造の效果性より考へて、中央径間をあまり大ならしめざる様、架設するのが安全である。

主構の死荷重應力に對しても、構材が破壊切斷された時を考ふれば、應張力と應壓力の應力關係は逆轉する場合がある。恰も、その應力關係は可動橋に於けるそれと類似性をもつて居る。

吊材の設計は、常時にありては、死荷重に對し遊び部材の如く作用し、主構が活荷重によりて、或る程度の撓度を生じて後、初めて活荷重に對し作用する様、特殊構造を施し、活荷重による吊材、吊弦材の應力を大ならしめざる様設計し、振動作用を極力減少せしめ、死荷重による應力と主構破壊の最悪なる場合の死荷重應力とを接近せしむ。

中間橋脚上の支承構造は、單構の場合には2個を必要とするが、連続構に於ては1個ですむ。但し耐弾的用意のために、支承の脱離防止を考慮して之を大型のものたらしむ。

既に述べたるが如く、本橋梁はラーメン構橋なるを以て、上部横構を用ひず、處々に、つなぎの横支柱を用ふるに過ぎない。従つて、これを公道橋に用ふれば、通行時に於ける暗鬱なる感じは除かれる。

但し下部横構には剛構造を以て強剛に左右主構を結合し、耐弾的考察をこゝにも用ふることとする。

4. 局部的破壊に對する耐弾性

提案の橋梁が、空爆下にさらされたるものと假定し、これが蒙る被害として2つに大別して考へることが出来る。

即ち、第一には、橋梁下部構造の被害であり、第二には上部構造の被害である。

前者の被害は、構造物をその根柢より破壊せんとする致命的なものであるが、これに就ての対策は又別個にこれを考へることとして、本文には、後者即ち橋體それ自身の被害に就て考察することとし、その局部的破壊を下の數種に分けて考へることとする。

- (i) 主構部材の破壊に関する安定性
- (ii) 吊材の破壊に関する安定性
- (iii) 吊弦材の破壊に関する安定性
- (iv) 支承部分の破壊に関する安定性

以下、是等の破壊條件に就て逐次夫々の場合に於ける橋體の安定性に就て考究してみる。

1. 主構部材の破壊に関する安定性

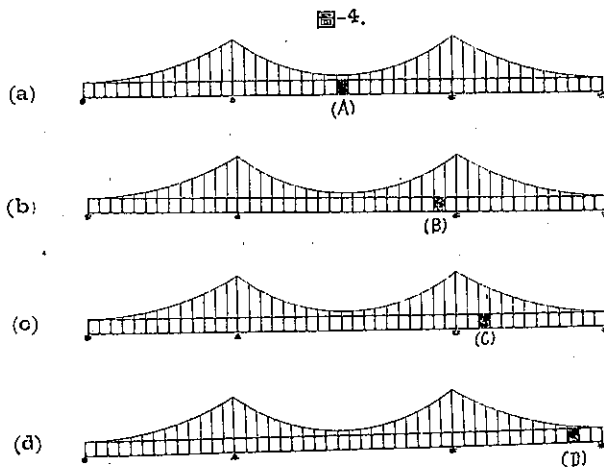


圖-4 (a) 主構部材の破壊の場合に於けるが如く、中央径間の中央附近に於て上弦材又は下弦材或は其等兩者が爆弾のため破壊せられたる場合を考ふるに、破壊径間は、その兩側の側径間が連続式構造を有するが故に、且つ又吊材の作用によつて橋脚上より墜落するを免れ得るであらうと想像する。

又、圖-4 (b) に示す如く、中央径間の橋脚に近く破壊を見たる場合には、吊材の作用と、連続構の突拵作用によりてその安定が保持せらるゝものと想像されるのである。

更に又、圖-4 (c), (d) 兩圖に示すが如き側径間に於ける被害にあつては、吊材の作用が重要な役目をつとめ安定を保持し得る様考へられるのである。

2. 吊材の破壊に関する安定性

本橋梁は吊材が主體として設計しあるものではなく、ラーメン橋それ自身に於て充分に死荷重に耐へ、吊材は單に活荷重の一部に耐へる様、第一次的に設計しあるものなるを以て、吊材の破壊は何等致命的なる被害ではない。

主構に被害が皆無であつて、單に吊材のみが被害を蒙る様な種類のものに対しては、何れの位置にある吊材に就ても同様にその影響は輕微である。

3. 吊弦材の破壊に関する安定性

吊弦材自身が破壊せらるゝことは、極めて稀なものと考へられるが、若しこれありとすれば、普通の吊橋にあり

ては重大致命的なる損害であるが、本橋種にありては、ラーメン橋はそれ自體に於て死荷重に耐へ得る様設計しあるを以て、如何なる位置に於て吊弦材が切斷を見るも、活荷重の存在せざる場合に於ては、ラーメン橋の安定性に變化はないのである。唯、吊弦材には活荷重の一部を負担する様設計しあるを以て、活荷重ある場合に對しては必ずしもその荷重程度により安定ではない。

4. 支承部分の破壊に関する安定性

提案の橋梁は、連続構橋なるを以て、中間橋脚上の支承は唯 1 個にて足り、普通の單構桁に於ける支承構造よりも、その面積を大に之を設計することが出来る。

從て支承部分の被害が甚大ならざる限り、その連続性と吊材効果とに依存して、破壊墜落より免れることが出来るであらうと想像するものである。

然らば、本橋梁の致命的破壊は如何なる場合に生ずるかを考ふるに、1 径間中に於て、主構部材の破壊を蒙ること 2ヶ所、之に加ふるに、吊弦材の破壊を見るが如き三重の被害を蒙るに於て、初めて橋體墜落の惨害を見るものと想像せられる。

其他、最悪の場合を考ふるに、最も起り得ること少き吊弦材の破壊を必ず伴はなければならないのであつて、その發生の機會は極めて稀なのである。

5. 結 語

橋梁部門に於ける防空的企畫設計に對して、短径間のものに對しては、修理の容易性が眼目とせられ、被害範圍の局限が考慮せられる。然るに、長大径間の橋梁に對しては極力、耐弾的に、強剛に、容易に崩壊せざることが眼目とせられる。

茲に提案の橋梁は、細部材を多數使用せんとする考察とは逆に、細部材の多數を集結して、強剛部材の少數に材料を集中置換せんとするものであつて、更に之を連続構造たらしめて外的に耐弾上より補強し、加ふるに之を吊橋構造たらしめて、內的に補強せんと企圖したものである。

連続構造の短所たる支點の不等沈下は、填材を使用して曲げモーメント應力の増大なき様に準備した。

ラーメン構橋の上部横構の單純性は、材料の節約と、主構への耐弾影響を良き方向へ導くものと考へられる。

應力計算の複雑性が考へられないでもないが、幹線に沿ふ長大径間の重要橋梁は、その數甚だ少きものであり、それに対する計算勞力は、充分に全機能を働かしむべきであり、充分に時間と資材とを惜むことなく、時代に先行した國防技能を擧げて、研究検討せらるべきものと思はれるのである。

併し、本ラーメン橋は、平行弦なるを以て、その計算は必ずしも複雑煩瑣なものではなく、種々の實用的方法が知られて居る⁴⁾。

4) 中島 武：平行弦フィーレンディール桁 土木工學, Vol. VI, No. 8, 1937. (岩波)

髙部屋福平：一般剛節構の實用解法 第 III 編 フィーレンディール・トラスの解法, 1937.

酒井忠明：Practical Calculation Formulae of Parallel Chord Vierendeel Trusses with Constant Stiffness for Full Loads Derived from "Differengleichung" Method. 北海道帝大工學部紀要, Vol. 5, No. 4, 1939.

小野 殖：一般フィーレンディールトラスの應力計算に就て 土木學會誌, 昭和 14 年 10 月

増田誠一：撓角の傳達に依る剛節梁の解法 建築學會論文集, 第 21 號, 1941.

特に、北大工学部紀要、Vol. 5, No. 4 記載の酒井忠明君誘導の諸式は、準備計算用として便利であり、死荷重満載の場合に對して、應力及び弾性變形は、格間數が如何に多數なる場合に於ても、數分時の簡易計算によつて、良き結果を與へる特徴をもつて居る。

又、著者が昭和 15 年第 4 回工學會大會に於て述べたフィレンデル構橋の一般解法は、上弦材と下弦材の K の値（斷面二次率をその部材長にて除したる數値）を異にする場合に於ても、機械的計算に依つて簡単にラーメン橋の問題に解決を與へしめる。

今や、戦時下に於ける耐弾橋梁の考案に對して、多數部材によるラチス・ガーター型橋梁の提案ある時にあたり、それとは全く逆に、材料を集成して少數部材たらしめ、ピン連結の理論に出發せずして、何處までも剛節構造の理論に立脚した新形式の耐弾橋梁を提案して、江湖諸賢の一顧を乞ひ、耐弾橋梁に對する厳しき検討を切望して止まぬものである。