

## 資料

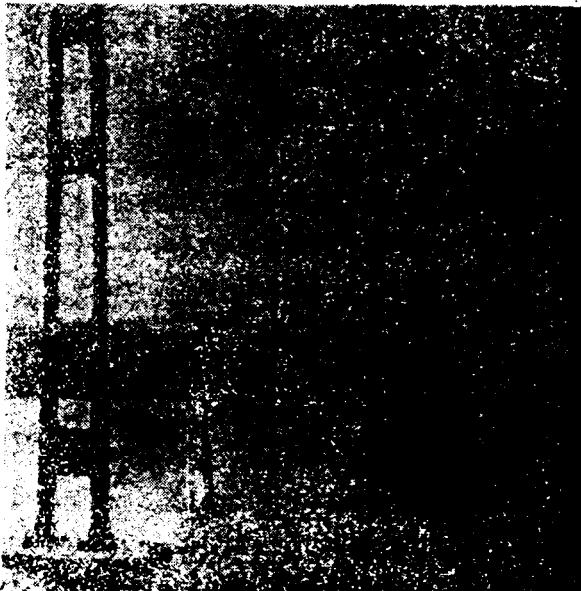
### タコマ橋墜落に就いて (第一回通常総会記念講演)

青木楠男\*

只今御紹介に預りました青木で御座います。本日は満洲土木學會創立一週年第一回の通常総会が済りなく済み御同慶に堪えぬ次第でありまして日本の土木學會を代表致して心から御説辭を申上げます。元來ならば谷口土木學會長が御同ひ致なればならないのではありますか公務多端折柄なので總務部長の私が代理として罷り出た次第で御座います。こちらに参ります事は實に突然の命令でありますので、何か話をせよとの事でありますか充分の準備が出来ませんでした。これから御耳に入れます話は斯う云ふ總會の記念講演として適當してあるかどうか、疑問であります寧ろもつとくだけた席上で申上げるがいいのではないかと思ふやうな次第であります。どうか極く窓いで御聽取り願ひたいと思ひます。

近頃 A、B、C、D の、敵性國家が日本包囲の陣形を整つてみると云ふ事であります。この中の A がどう云ふ風にやつて來てゐるかを見ますと日本包囲の最前線と致して、ヒリツビン、グワム、ハワイの諸島がありアメリカ大平洋岸にゆきますと南の方にサンチャゴ中部にサンフラノシラコが防備を固めて居り、北部カナダと合衆國の境にはアゼット、サウンドの入江があります。このアゼット、サウンドは北にバンクーバーがあり合衆國側にシャトルがあります。シャトルから更に入江を入りますと今御話申上げますタコマの町があります。この入江はタコマの町の附近になると非常に狭くなつて居り、こゝに御話申上げやうと思ふタコマの橋が架つて居ります。このタコマの橋は、この附近にある防備施設への通路にあたる重要な軍用橋であります。大抵の事はあけすけ雑誌に發表する亞米利加のですが、この橋の事に就てはさつぱり記事が出てられないであります。この橋の竣工を雑誌で見て、そ

の内容を知らうと思つたのですが却々解りませんでしたこんな具合で軍事上から見てアメリカ西海岸に於ける要橋梁の一つの様であります。この橋が出来ましたのは本年七月一日であります。この橋がそれから四箇月ちまして11月7日の朝から吹き出しました時速四十二哩、秒速十九米許りの風に煽られて、無惨な最期を遂



寫真1—墜落せるタコマ橋ネーム

て終つたであります。アメリカとしましては、軍用橋であります意味から、又橋梁技術の上から見てアメリカとしては相當得意なものであつた關係から、この墜落は世界の橋梁技術界に相當センセイションを起したのであります。當時のシャトルのボユインテリゲンチアと云ふ新聞の殆ど全真がこの記事で埋られて居つた工合を見ましてもどんな騒ぎであつたかに想像されるであります。御承知の様にアメリカは世界第一が大好きであります。土木工事に於てアメリカが得意とするもの

一つは吊橋で世界第一位から第二十位までの吊橋が合衆国内に散在してゐるのであります。其中一番長いのはサンフランシスコのゴールデンゲートの橋で、眞中の往路だけが四二〇〇呎で全長が六四五〇呎ありますその次がニューヨークのジョージワシントン橋で眞中が三五〇〇呎全長が四八〇〇呎その次が今日御話申上げますタコマの橋で中央跨間が二八〇〇呎、全長として五〇〇〇呎の橋であります。この長さは大體此の位のものがと申しますと丁度今國道の隧道を掘つて居ります關門の海峡位の長さにあたります。恐らく哈爾濱のスンガリーの大橋の長さが三〇〇ヤード位であらうと想像するのですが遂に一跨ぎの橋が出来たと考へたらいいかと思ふのであります。現このタコマ橋であります、今申上げましたやに長さに於ては世界第三位であります其竣工開通の日から見ますと長徑間架橋の中で極く新しいものであつて最新の橋梁理論に基いて架けたものと云へるわざり、又出来上りました橋の外形のスマートさの點於ても、恐らくアメリカ御自慢のものであつたらうと思はれるのであります。この橋が先程申しましたやうに約四箇月後に毎秒十九呎の風で折れて落つた。これに、何が特別の原因かなければならぬと云ふ事になる

ですが、先づ斯う云ふ橋を一體誰が設計した、設計者が誰かつたのではないかと云ふ事が第一に考へられるのであります。これの設計に當りました人達は、合衆國に於て、今一派の橋架學者たるモイセイフ以下専門の人達が設計したのでありますとその間に手落ちがあると云ふ事は全然考へられないであります。又工事に粗漫があつたのではないかと云ふ事が想像されるが、大體これを架けましたのは、先程申しました一番長い吊橋ゴールデンゲートをはじめサンフランシスコ、オークラノードの間に屬つてゐるオークランド、ベイ橋等を施工したパシフィック、ブリクデ、コンパニーがやつたのでその工事に就て遺漏があつたとは考へられないであります。斯う云ふ風に考へますと、この橋梁の設計、工事の施工方法に於て、想像し得る手落ちと云ふものは考へられないであります。従つてこゝに何か今まで考へなかつた問題が、その間に潜在してゐるのではないかと云ふ事が考へられるのであります。それをはつきりします爲には矢張り同じ人達が設計し同じ人達が施工した他の吊橋とタコマ橋との間にどれ位の違ひがあるかと云ふ事を突き詰めて見る必要があると思ひます。

そこでこの表を書いて參つたのでありますが先づ橋の

表—— 著名長徑間吊橋比較表

	補剛桁がトラス式のもの			補剛桁がガーダー式のもの		
	Golian gate 橋	George wa shington 橋	S. F. Oak land Bag 橋	Tacoma Narrows 橋	White st one 橋	Deed Island 橋
主跨間長 (L) 呎	4200	3500	2310	2800	2300	1080
側跨間長 (L') 呎	1125	650	1160	1100	735	434
主索距尺 (L) 呎	475	325	231	232	200	—
補剛桁高 (h) 呎	25	41*	30	9	11	6.5
水平構幅 (b) 呎	90	106	66	39	74	—
自重 (封度/呎)	22,100	39,000	18,700	6,000	11,000	—
L':1	1:3.7	1:5.4	1:2.0	1:2.54	1:3.15	1:2.33
t:l	1:3.85	1:9.8	1:10	1:13	1:11.5	—
h:l	1:168	1:85	1:77	1:350	1:209	1:166
b:l	1:46.6	1:33	1:35	1:72	1:31	—

備考案 この寸法は下部橋床完成後のものを示す。

長さから云ふとゴールデンゲートが四二〇〇呎、ジョージワシントンが三五〇〇呎タコマが二八〇〇呎橋幅はゴールデンゲートが九〇呎ジョージワシントンが一〇六呎タコマの方が三九呎であります。それで、今橋の長さと幅の割合で比較しますとゴールデンゲートは約五十分の一でジョージワシントンは三十三分の一になつて居ります。ところがタコマの橋は七十二分の一になつて居ります。つまり今までに例のない非常に幅の狭い橋を架けてみると云ふ事になります。

次に橋の単位長當りの重さでありますかこれが非常に軽い、ゴールデンゲートでは長一呎當り二二、一〇〇封度ジョージワシントンが三九、〇〇〇封度タコマ橋が六〇〇封度と云ふ譯で非常に軽く出來てゐる、橋床も僅か五吋四分一の薄い鐵筋コンクリート版でつくつてあると云ふ有様であります。

又斯う云ふ工合にごく軽い橋であつた爲に從來の長徑間吊橋が補剛索を使って來たにも拘らずタコマでは非常に背の低い補剛索術を使って居るのであります。今徑間長と補剛索との高さを比較して見ますゴールデンゲートが一六八分の一で、ジョージワシントンが八五分の一で、タコマは三五〇分の一になつて居ります。つまり長さに對して桁の高さが非常に低くなつて居ります。斯う云ふ風に考へますと、タコマ橋は現在の吊橋理論に依つて間違ひなく計算したにしても、出來上つたものは前代未聞の幅の狭い高さの低い通きの軽いものであつたと云ふ事に結論されるのであります。諸この橋の工事がどんな進みまして、懸々竣工が間違になつた時、どうも變な振れ方をすることが解つてきたのでした。即ち風が吹くと妙に上下振動をやる、それも大きな風でなく、一八米位の秒速の風でもフリフリと動くと動くと云ふ事であつた。観測の結果によりますとこの振動はごく悠々のときは毎分8サイクル位であり。

非常に速い時は毎分三六サイクル位である。普通一二サイクル位が一番多い極く悠々揺れて居ります時には、この中央徑間全體が一つの波となつて上下してゐるが、稍速い搖れになるとこゝに四つしかノードが出来、ごく急速の場合はノードが一〇位出来る。

斯う云ふ風に振動のサイクルとノードの變化が然しいのであります。諸工事が進んで遂に竣工を見るに至りましたが揺れはするが、前に交通に支障のある程度でないので、その橋開通式が行はれまして、併し若し大きな風が吹いたゞどんな事が起らないとも限らないと云ふ心配があつて、この橋の振動の研究、振動止めの工夫することとなりましてシャトルのワシントン大學のアーヴィングソン教授が研究を依頼されました同教授は先づ導体の中に約百分の一の橋の模型を造つたのであります。この橋が全長五〇〇〇呎ありますからこれの百分の一の模型と云へますと長さ五〇尺の模型であります。寸法例を見ない大がりのものであります。

この大きな模型につきましてタコマ橋の彈性力学的性質の検討を進めると共に、更に一二呎の風洞に於て風洞試験をやつて氣體動力學的の安定實驗をやつたのであります。大體このワシントン大學での實驗の結果に依りまして同橋の氣體動力學的の不安定がはつきりして参りまして、何とか對策を講じなくてはならぬと云ふ事になり、幾種類かの實驗を繰り返した後にこれが防止案として二三の適當な方法が提案されに至つたのであります。

この實驗が終つたのが恰度昨年十一月二日でありますか、殘念な事にはアーヴィングソン等この努力の結果が實現されるの機會の至る前に、タコマ橋に對する最も不幸な日が来て仕舞つたのであります。丁度實驗完了後五日目の十一月七日の朝からその地方に非常な風が吹始めまして最高時速四二哩に達したのであります。この烈風中に同橋がどんな風に揺れるだらうと云ふ事を心配されたアーヴィングソン教授は早朝タコマに行かれて橋の振動の觀測をやられたのであります。不幸にも同教授は同橋が午前十一時過後無くも海底へ没し去るまでの最も忠實なる翻刻者となつて仕舞はれたのでした。氏が勇魂にも盡蓄の最後まで橋上に止つて撮影したフィルムこそ後刻御目にかける映畫であります。橋梁技術上得難き資料であります。

抑々今日までの橋梁技術發達の歴史を顧みますと此間に橋梁墜落の慘事は澤山あるのでして、其度毎にそこに

何か新しい事實が見出されてゆき、この犠牲によつて理學や技術の著しい進歩を見た例は數くないであります。例へば米國セント・ローレンス河のケベック橋の再度に

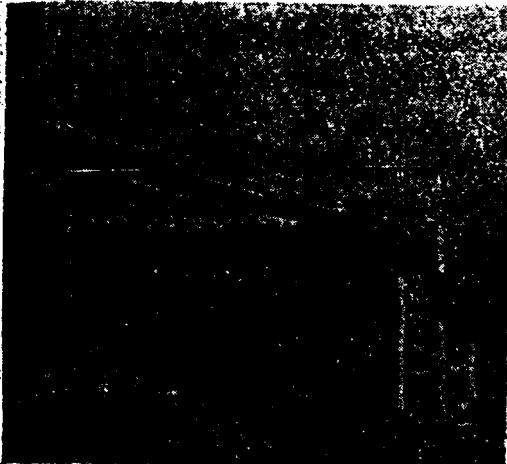


写真2—型にゆれるタコマ橋

大惨事事件、列車共に海中へ落ちて行つた英國タイ橋の倒壊、等々枚挙したらまだまた津山あります。このタコマ橋の墜落も亦同じであります。六百四十萬ドルと工費は勿體ない様であります。この犠牲によつて云ふべきは實に無いものであります。

では橋はどんな工合に落ちたか今アカヘーソ教授の物語るところを簡単に申上げますと、同教授が現に行つたのは十時少し前であります。其頃橋の振動は毎分三六サイクルの相當速の振動であります。そのノードの数は一〇近くあつたと想像されます。これが十一時近くになると突然その振動がゆるやかになり橋毎分一四サイクル位の振動に變つた。さうしてそのノードは中央にたゞ一つでS字型に振動を始めたのであります。然もその時の振動は、今までの振動と大變異にしてをつて、橋の右と左とが互に九十度のフェーズ、ディファレンスを持つ様な揺れ方であつて片側上れば反対側が下るど云ふ工合で橋はひどい揺れをうけることになつたのであります。この様な倒向は從来に見られなかつた事であります。この位相差こそは振動による被害を促進せしめ、橋に致命的の害を及ぼす結果になつたと想像されるのであります。元來両方のケ

ブルが同じフェーズで振動は跳躍座換とでも申すべきもので多少交通に支障があつても致命的でなかつたのであります。左右が違つたフェーズで揺れことになると橋に撞撃加はることになる、恰度飛行機の翼に於ける羽擣き振動のやうなものが橋に起つて來たと云ふ譯であります。振動の激しくなるにつれて、片側が上れば、片側が下ると云ふ傾向がだんだんひどくなつて來て、十一時少し前には、橋の左右四分の一點附近にあるランプポストがほど九十分度交叉して見える様になり、片側の上り下りが約二八次にもなつたと云はれます。

斯様な振動の續くにつれて橋床部の損傷が目立つて來遂に中央徑間四分の一點附近の水平構が最初に壊れた、間もなく補剛桁の一部に捻屈が起り同時に其附近の吊索の切斷となり遂に中央部約二〇〇呎の橋床が墜落するに至つた。この中央部の墜落は橋の平衡を破つた爲に引きつき主徑間二八〇〇呎の大部分の墜落が起り同時に兩側の側徑間は約三六次垂れ下つて、この世界第二の大吊橋は見る影もない姿と成り果てたのでありました。

さてここで改めてタコマ橋の墜落によつて何を教へられたかと云ふことを願つたいと思ひます墜落の直接の原因としては兩側主索の振動の位相差にあつた事は確かで

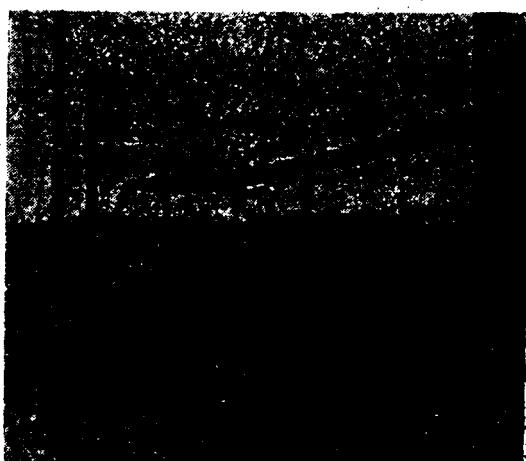
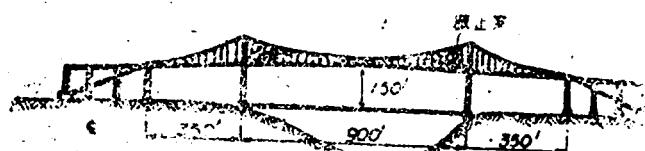


写真3—海中へ墜ちてゆくタコマ橋

あるが、この様な振動を起した根拠はどこにあつたかこれは當然橋の氣體動力學的不安定性に屬せねばならない、從來の長徑間吊橋に於て全く感じられなかつた上記の橋

な不安定性が何故に起つたか、この點に關しては吾々は再びタコマ橋の構造上の特異性を考へて見ねばなりません、ファーグハーソン教授の風洞實驗の結果によればこの不安定性の原因としては先づ本橋に用ひられた補剛桁の型式が問題視されており、又橋全體としての剛性重さ等が又大きな關係をもつとされております、結局靜力学的の吊橋理論の適用にあたつて氣體動力學的の安定性の問題を無視してをつたと云ふ點に根本原因がある。換言すれば吊橋理論から云つて差し支へなくとも或程以上に剛性の乏しいものでは氣體動力學的に見て非常に危険であると云ふことを明かにすることが出來た次第であります。

それではこの不安定性を除く爲にファーグハーソン教授はどんな工夫をしてをられたかこれには二つの方針を考へて居ります。一つは橋への風力の影響を軽減せんとするものもう一つは橋の振動を止めるために振動防止索を取りつけ様とするものである。



第 図4—ホワントストーン橋の振止め

風の影響を減らす方法としての一つはステッピング、ガーターの腹板へ孔を開けて風が吹き抜けるやうにするもの第二はステッピングガーター流線型の風除けをつくる方法であります。

最後に振動防止索であります但タコマ橋に於ても側徑間にはすでに局部的に取付けられており、これによつて側徑間の振動を或程度吸ひ止める事が出來た事であります、主徑間の振止めとしては圓の様なものが考へられてをつた、これらはすでに一二の橋に實施され充分な效果が認められてをつたものであります。

以上の振動防止策の何れかが實施されて居つたなら十一月七日の轟事は起らなかつたらうと思はれしまして誠に残念に存する次第です。

さてこのタコマの橋墜落に就きましては色々なエビソ

ードが傳へられてをります。先づこの墜落事件で一躍その名が世界的となつた人はアーヴィング教授であります墜落の刹那まで振動状態の測定と一大耗映畫の撮影に努力された工學的良心と振動の最中に橋上に乗り下された車上の犬を救助せんが爲に獻身的努力をされた勇敢さとは共に語り傳へらるべき美談だと思ひます。

橋上を最後に通過し様とした事はタコマニュースの記者コーウェース氏の乗用車であります令嬢の愛犬アビューをのせて海岸の別邸から自宅へと橋上へさしかつたのが丁度橋が墜落を開始する直前であつたのです、彼の車が支柱を通過した頃から崩壊は漸く激しく中央附近に至つて遂に操縦の自由を失ひ、車は歩道へ乗りからたのでした、コ氏は投げ出される様に車から出て、愛犬の救助にと立ち上つたのですが歩行の自由を失つて倒橋上を匍匐すること數百米漸くにして支柱に達し命を全ふしたのでした車中に残され極度におびえた愛犬は其後獻身的に車にむかつたファーガソン教授の手に咬みついて遂に其救助をうけず、振止めと共に橋上を右へ左へと走り動く車上に走り、橋梁の墜落と共に海底深く沈んでしまつたのであります。これがタコマ橋の轟事で失はれた只一つの生命たと云ふてをります。

幸にして本橋は總工費の八〇パーセントに當る額の險が附けてあつたと云ふ事です、又太平洋岸防備のためには極めて重要な意義を有する橋梁と聞くだけに橋架建の計畫も整ひ、一兩年中にしてタコマ新橋の誕生たる姿が海峡上に浮び出ること信ずる者であり、如何なる式を探つて現はれるか吾々橋梁技術にとつては極め興味ある問題だと云ふ事であります。これにて私の御説終ります。甚だ雑駁な話を御静聽下さいました事を厚く御禮申上ます。

(終)