

室蘭港架橋計画試案について (3) —斜張橋—

室蘭工業大学工学部 正員 中村作太郎

1. 緒 論

すでに、室蘭港架橋計画試案について (2)において、トラス系橋梁すなわち、中路式3径間曲弦ゲルバートラス橋2種類(プラット型およびK型)、中路式アーチ補剛3径間ゲルバートラス橋、下路式吊補剛3径間ゲルバートラス橋、上・下路式3径間曲弦連続トラス橋、中路式3径間曲弦連続トラス橋、中路式3径間連続トラス・アーチ橋(バランスドトラス・アーチ型)の架設計画試案について比較論究し、余り大径間の橋梁としては実例のない中路式3径間連続トラス・アーチ橋(バランスドトラス・アーチ型)の試案設計($225\text{ m} + 450\text{ m} + 225\text{ m}$)を行ない、その二次応力度などについても慎重に検討した。

今回は、前回同様の架橋位置(路線の中央主要部)に、 $L = 224\text{ m} + 448\text{ m} + 224\text{ m}$ の上路式3径間連続トラス式鋼床板斜張橋の試案設計を行ない、その部材応力度、部材断面その他について吟味検討を試みた。

2. 設計条件および適用示方書

(1) 形式: 上路式3径間連続トラス式鋼床板斜張橋, (2) 橋格: 1等橋(T・L20), (3) 支間: $224\text{ m} + 448\text{ m} + 224\text{ m} = 896\text{ m}$, (4) 格間: $128 @ 7\text{ m} = 896\text{ m}$, (5) 中員: 18.00 m , (6) 橋高: 10.00 m , (7) 塔高: 80.00 m , (8) 床構造: 鋼床板, (9) 舗装: 6.5 cm 厚のグースアスファルト舗装, (10) 地震震度: 水平震度0.20, 鉛直震度0.10, (11) 使用鋼材: SM41, SM50, SM58, HT50, HT70, (12) 適用示方書: 鋼道路橋設計示方書, 溶接道路橋示方書, 道路橋耐震設計指針, 道路橋下部構造設計指針, 鉄筋コンクリート標準示方書

3. 斜張橋の発達とその架設現況などについて

(1) 発達傾向とその経緯

斜張橋の歴史はそう新しいものではなく、その基本構想は吊橋とともに非常に古い時代からあったものらしい。1784年に刊行されたImmanuel Löschersの著書の中にも木材を使用した斜張橋型の橋の図が掲載されている。その原理はごく簡単で、長い支間の橋を架設するのに桁の曲げ剛性では足りないので、途中において索で吊りこれを助けるというだけのことである。その着想は単純明快であり、もつと古い時代から架設されてもよかつたと思うが、構造解析その他材料面の発達が遅れたためその架設も割合に遅れたものと思う。

実例としては、イギリス・ドイツを中心に発達し、19世紀前に加納りの斜張橋が架設されたが、20世紀の前半には全く架設例がなく、この形式は全く忘れられたように思えたが、1950年以降になって非常に数多くなり、しかも年々大型化されて来ている。

直線状の斜索を用いた鉄桁は、19世紀になってイギリスにおいて初めて架設されたが、1908年に刊行されたChr. Mehrten'sの著書「鉄道橋梁」およびHäselersの著書「鉄橋」には、Kettenbrücke nach Faustus Verantius (1617, 斜張鎖橋), Kings-Meadow-Brücke (1817, 斜張索橋), Brücke Bauart Poyet (1821, 斜張索橋), Kettenbrücke Bauart Hatley (1840, 斜張索橋), Brücke übre den Manchester Schiffahrtskanal (斜張索橋), Schrägseilbrücke Bauart Giscard-Arnadin (斜張索橋), Fährbrücke in Nantes (1903, 斜張索橋)などが紹介されている。

Dryburgh-Abbeyに架けられた斜張歩道橋(1818), NienburgのSaale河に架設された斜張鎖橋(1824)などが完成後間もなく落橋した事件が原因となり、斜張橋の架設は一時疎んぜられ、長い間の空白期に入ることになった。このような失敗は構造上の知識の不足、力学上の理解不足、引張材の強度不足、あるいは架設時における応力調整・たわみ規制などに関する知識の不足などが原因となつて起つたものと考えられる。

20世紀の後半に至り、西ドイツにおける斜張橋に関する研究が著わめて活発となり、西ドイツ・イギリス・その他の諸外国・日本など世界各地に斜張橋が架設されるようになって来た。このように斜張橋の再認識されるに至った要因としては、ロックドコイルや平行索線索など引張材の材料面における進歩、電子計算機の発達により多次不静定構造の精密解析が可能になったこと、力学的にみて現代の大径間橋梁の型式に適合していること、構造の優美さと軽快さが現代人の感覚に合っていることなども挙げることが出来ると思う。

(2) 架設現況その他

(a) 西ドイツ

1955年スエーデンにおいて、西ドイツの業者DEMAGによって架設されたStromsund橋($l=182.6m$)に始まり、Theodor-Heuss橋(Düsseldorf, 1958, $l=260m$ 旧名Nord橋), Severin橋(Köln, $l=302m$), Norderelbe橋(Hamburg, $l=172m$), Leverkusen橋($l=280m$), Maxau橋($l=195m$), Ludwigshafen橋($l=138m$), Rees橋($l=255m$), Bonn-Nord橋($l=280m$), Knie橋(Düsseldorf, $l=320m$), Duisburg-Neuenkamp橋(Duisburg, $l=350m$)などがあるが、西ドイツの特徴は新しい橋を架設するごとに計画的な変化を求めている点にあると考えられる。

(b) イギリス

斜張橋の歴史の上からは西ドイツよりも古いといわれているが、それを実証する一つとしてAlbert橋(London, $l=122m$, 1893)がある。その他、New Port橋(1963, $l=150m$), Wye河橋(1966, $l=233m$), Erskine橋(1970, $l=305m$)など架設されているが、イギリスの斜張橋の特徴は支間に比べ桁の高さがかなり低くなっていることであらう。

またイギリスの橋梁コンサルタントの手によって設計されたアフリカのNew Luanga橋($l=222m$), オーストラリアのLower Yarra橋($l=336m$)なども斜張橋では著名である。

(c) その他の諸外国

西ドイツにおける斜張橋の発達に刺激され、イギリスのほか、世界の各国においても架設例をみるようになって来た。例えば万博の際建設されたカナダのMontrealの斜張橋($l=105m$), パリ市内の斜張橋($l=161m$), オーストラリアのタスマニア島の斜張橋($l=205m$), チェコスロバキアの斜張橋($l=303m$)などが著名である。また、コンクリートの斜張橋の架設例としては、MarakaiboおよびGenoaにそれぞれ、 $l=281m$, $l=203m$ の大規模なものがある。

次に、計画中のものとしては、南サンフランシスコ湾に大型の斜張橋($l=396m$)の建設が決定した模様であり、アラスカのバラノフ島にも斜張橋の建設が予定されているとのことである。そのほか、インドのHooghly II号橋($l=457m$), フランスのSt. Nazaire~St. Séverin橋($l=404m$), アルゼンチンのBrágo Largon橋($l=340m$), ソビエトのKiev橋($l=300m$), アメリカ~ソビエト間のBering海峡のInter Continental Peace橋($L \div 1,000m$), スペインのGibraltar海峡橋(浮き橋脚利用の斜張橋)などが計画され、一部は建設中のものもある。最近アメリカにおいても、ウエストバージニアに $l=274m$ の斜張橋の計画が立てられているとよくから、今後益々架設例も増えるだろうし、支間も年々大きくなって行くものと思う。

(d) 日本

我が国においても、西ドイツの発達に刺激されて斜張橋の架設が年々増加して来ている現状にある。すなわち、神奈川県勝瀬橋(1959, $l=128m$), 北海道の神納橋(1963, $l=800m$), 神戸港の摩耶大橋(1966, $l=139m$), 尾道の尾道大橋(1967, $l=215m$), 大阪市の淀川に架けられた豊里大橋(1970, $l=216m$), 北海道の石狩河口橋(1971, $l=160m$)などがそれであり、首都高速道路にも荒川斜張橋(1970, $l=160m$)が架設されている。

また、トルコのGolden Horn橋($l=240m$)の設計施工管理は日本のコンサルタント(株)橋梁設計事務所が担

当し、国際入札の結果は日本の石川島播磨重工業に決定したし、アルゼンチンのサラテ橋($l=320$ mの鉄道路併用橋)の受注にも参加し日本グループとイギリスグループの激戦が展覧された。なお、大阪の南港連絡橋の計画時にゲルバートラス橋と比べ試験案として、ワーレントラスの補剛桁を有する斜張橋($l=530$ m)の概略設計資料をも示している。

(c) 世界の長大斜張橋

世界中においてすでに完成した斜張橋を支間長順に5位までを示せば、表-1の通りとなる。いま5位までの支間長の平均値を求めてみれば、 $l_{av}=330.2$ m

となり、ゲルバートラス橋の5位までの支間長の平均値512.2 mに比べかなりまだ低い。

しかし年々支間長は大きくなりつつあるし、すでに計画中のものまで含めて支間長5位までの平均をとってみれば、 l_{av} (計画を含む) $=377.5$ mとなっているし、不確定な計画のものまで含めれば、

更に平均支間長の増大は著しいものがあることから推定して、そう遠くない将来において支間長500 mを越す斜張橋の出現も当然みられることとなる。

表-1 世界の長大斜張橋

順位	橋名	支間長 m	完成年	架設位置
1	Duisburg-Neuenkamp	350	1970	Duisburg, W. Germany
2	Mesopotamia	340	1972	Corrientes, Argentina
3	Lower Yarra	336	1970	Melbourne, Australia
4	Knie	320	1969	Dusseldorf, W. Germany
5	Erskine	305	1970	Clyde River, Scotland

4. 連続トラス式斜張橋の設計試案とその力学的検討

先に述べた設計条件および適用示方書を基として、室蘭港の上空に $L=224$ m + 448 m + 224 m の上路式3径間連続トラス式鋼床板斜張橋を架設する計画を立て、設計を試みた。その概略図を示せば、図-1の通りとなる。

中央支間は $l=448$ mで、世界の長大斜張橋の現況よりみて充分架設可能であり、連続トラス式鋼床板斜張橋を選定したのは、風圧・地震などの動的荷重の影響を考慮したから

である。

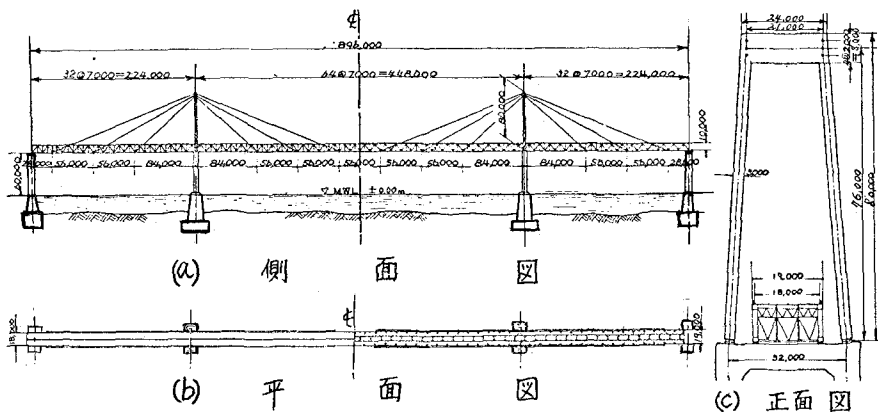


図-1 上路式3径間連続トラス式鋼床板斜張橋の概略図

(1) 構造解析の仮定

- 1) 塔の下端、ケーブルと塔、ケーブルと主構はすべてヒンジ結合とする。
- 2) ケーブルのサグは無視する。
- 3) 構に対するケーブルの傾斜角は変形の前後において不変とする。

(2) 基礎理論解式

主構の解法で基本系を3径間連続トラスにとり、不静定量としてケーブルの張力 $X_1, \dots, X_{12}$ 、塔頂の変位 $\delta_{H_1}, \delta_{H_2}$ の14個をとる。任意点に荷重が作用した時主構のたわみとケーブルの伸びとの関係から不静定量 $X_1, \dots, X_{12}$ は構のたわみ、ケーブルの断面長さ、傾斜角およびヤング率の関数として表わせる。

構造諸元を図-2のようにとれば釣合方程式は14元連立方程式になる。

ケーブルの伸び、ケーブル取付点の鉛直変位および塔頂の水平変位の釣合より次式が得られる。

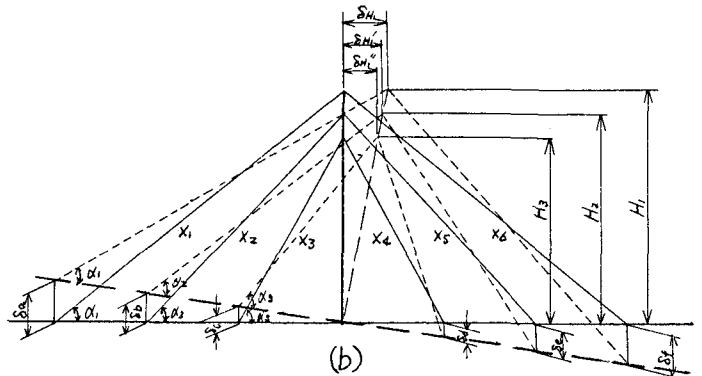
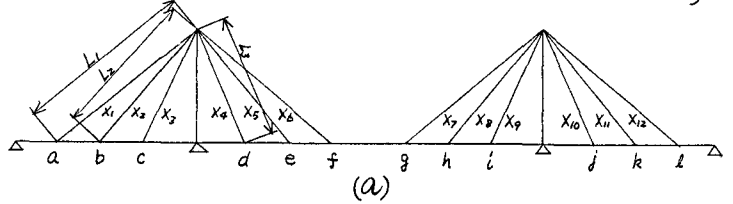
$$\begin{aligned}
 L_1 X_1 / EA_1 \sin \alpha_1 &= d_a + d_{H_1}' \cot \alpha_1, \quad L_2 X_2 / EA_2 \sin \alpha_2 = d_b + d_{H_1}' \cot \alpha_2 = (H_2/H_1) d_{H_1}' \cot \alpha_2, \\
 L_3 X_3 / EA_3 \sin \alpha_3 &= d_c + d_{H_1}' \cot \alpha_3 = d_c + (H_3/H_1) d_{H_1}' \cot \alpha_3, \quad L_3 X_4 / EA_3 \sin \alpha_3 = d_d - d_{H_1}' \cot \alpha_3 = d_d - (H_3/H_1) d_{H_1}' \cot \alpha_3, \\
 L_2 X_5 / EA_2 \sin \alpha_2 &= d_e - d_{H_1}' \cot \alpha_2 = d_e - (H_2/H_1) d_{H_1}' \cot \alpha_2, \quad L_1 X_6 / EA_1 \sin \alpha_1 = d_f - d_{H_1}' \cot \alpha_1, \\
 L_1 X_7 / EA_1 \sin \alpha_1 &= d_g - d_{H_2}' \cot \alpha_1, \quad L_2 X_8 / EA_2 \sin \alpha_2 = d_h - d_{H_2}' \cot \alpha_2 = d_h - (H_2/H_1) d_{H_2}' \cot \alpha_2, \\
 L_3 X_9 / EA_3 \sin \alpha_3 &= d_i - d_{H_2}' \cot \alpha_3 = d_i - (H_3/H_1) d_{H_2}' \cot \alpha_3, \quad L_3 X_{10} / EA_3 \sin \alpha_3 = d_j + d_{H_2}' \cot \alpha_3 = d_j + (H_3/H_1) d_{H_2}' \cot \alpha_3, \\
 L_2 X_{11} / EA_2 \sin \alpha_2 &= d_k + d_{H_2}' \cot \alpha_2 = d_k + (H_2/H_1) d_{H_2}' \cot \alpha_2, \quad L_1 X_{12} / EA_1 \sin \alpha_1 = d_l + d_{H_2}' \cot \alpha_1
 \end{aligned}$$

ただし、E: ケーブルの弾性係数, A: ケーブルの断面積, $d_{H_1}' = (H_2/H_1) d_H + P d_{22}$, $d_{H_2}' = (H_3/H_1) d_H + P d_{22}$,
P: 水平方向分力, d_{22} : 塔のたわみ影響値, ここでは $H_1 \div H_2$, $H_1 \div H_3$ なので $d_{22} = 0$ とする。

塔基部で $\Sigma M = 0$ の条件より次式

が得られる。

$$\begin{aligned}
 &X_1 \cos \alpha_1 H_1 + X_2 \cos \alpha_2 H_2 + X_3 \cos \alpha_3 H_3 \\
 &= X_4 \cos \alpha_3 H_3 + X_5 \cos \alpha_2 H_2 + X_6 \cos \alpha_1 H_1 \\
 &X_7 \cos \alpha_1 H_1 + X_8 \cos \alpha_2 H_2 + X_9 \cos \alpha_3 H_3 \\
 &= X_{10} \cos \alpha_3 H_3 + X_{11} \cos \alpha_2 H_2 + X_{12} \cos \alpha_1 H_1
 \end{aligned} \quad (2)$$



また、主橋上任意点 (Y 点) に荷重 P が載荷した時、ケーブル取付点のたわみは、次式の示す通りとなる。

ただし、式中における d_{nr} については、 d_{nr} : 基本系のたわみ影響値を示すものとする。

図-2 を参照し、 $d_a, d_b, d_c, d_d, d_e, d_f, d_g, d_h, d_i, d_j, d_k, d_l$ は、

図-2 斜張橋の構造諸元

$$\begin{aligned}
 d_a &= P d_{ar} - \{ (X_1 d_{a1} + X_6 d_{a6} + X_7 d_{a7} + X_{12} d_{a12}) \sin \alpha_1 + (X_2 d_{a2} + X_5 d_{a5} + X_8 d_{a8} + X_{11} d_{a11}) \sin \alpha_2 + (X_3 d_{a3} + X_4 d_{a4} + X_9 d_{a9} + X_{10} d_{a10}) \sin \alpha_3 \} \\
 d_b &= P d_{br} - \{ (X_1 d_{b1} + X_6 d_{b6} + X_7 d_{b7} + X_{12} d_{b12}) \sin \alpha_1 + (X_2 d_{b2} + X_5 d_{b5} + X_8 d_{b8} + X_{11} d_{b11}) \sin \alpha_2 + (X_3 d_{b3} + X_4 d_{b4} + X_9 d_{b9} + X_{10} d_{b10}) \sin \alpha_3 \} \\
 d_c &= P d_{cr} - \{ (X_1 d_{c1} + X_6 d_{c6} + X_7 d_{c7} + X_{12} d_{c12}) \sin \alpha_1 + (X_2 d_{c2} + X_5 d_{c5} + X_8 d_{c8} + X_{11} d_{c11}) \sin \alpha_2 + (X_3 d_{c3} + X_4 d_{c4} + X_9 d_{c9} + X_{10} d_{c10}) \sin \alpha_3 \} \\
 d_d &= P d_{dr} - \{ (X_1 d_{d1} + X_6 d_{d6} + X_7 d_{d7} + X_{12} d_{d12}) \sin \alpha_1 + (X_2 d_{d2} + X_5 d_{d5} + X_8 d_{d8} + X_{11} d_{d11}) \sin \alpha_2 + (X_3 d_{d3} + X_4 d_{d4} + X_9 d_{d9} + X_{10} d_{d10}) \sin \alpha_3 \} \\
 d_e &= P d_{er} - \{ (X_1 d_{e1} + X_6 d_{e6} + X_7 d_{e7} + X_{12} d_{e12}) \sin \alpha_1 + (X_2 d_{e2} + X_5 d_{e5} + X_8 d_{e8} + X_{11} d_{e11}) \sin \alpha_2 + (X_3 d_{e3} + X_4 d_{e4} + X_9 d_{e9} + X_{10} d_{e10}) \sin \alpha_3 \} \\
 d_f &= P d_{fr} - \{ (X_1 d_{f1} + X_6 d_{f6} + X_7 d_{f7} + X_{12} d_{f12}) \sin \alpha_1 + (X_2 d_{f2} + X_5 d_{f5} + X_8 d_{f8} + X_{11} d_{f11}) \sin \alpha_2 + (X_3 d_{f3} + X_4 d_{f4} + X_9 d_{f9} + X_{10} d_{f10}) \sin \alpha_3 \} \\
 d_g &= P d_{gr} - \{ (X_1 d_{g1} + X_6 d_{g6} + X_7 d_{g7} + X_{12} d_{g12}) \sin \alpha_1 + (X_2 d_{g2} + X_5 d_{g5} + X_8 d_{g8} + X_{11} d_{g11}) \sin \alpha_2 + (X_3 d_{g3} + X_4 d_{g4} + X_9 d_{g9} + X_{10} d_{g10}) \sin \alpha_3 \} \\
 d_h &= P d_{hr} - \{ (X_1 d_{h1} + X_6 d_{h6} + X_7 d_{h7} + X_{12} d_{h12}) \sin \alpha_1 + (X_2 d_{h2} + X_5 d_{h5} + X_8 d_{h8} + X_{11} d_{h11}) \sin \alpha_2 + (X_3 d_{h3} + X_4 d_{h4} + X_9 d_{h9} + X_{10} d_{h10}) \sin \alpha_3 \} \\
 d_i &= P d_{ir} - \{ (X_1 d_{i1} + X_6 d_{i6} + X_7 d_{i7} + X_{12} d_{i12}) \sin \alpha_1 + (X_2 d_{i2} + X_5 d_{i5} + X_8 d_{i8} + X_{11} d_{i11}) \sin \alpha_2 + (X_3 d_{i3} + X_4 d_{i4} + X_9 d_{i9} + X_{10} d_{i10}) \sin \alpha_3 \} \\
 d_j &= P d_{jr} - \{ (X_1 d_{j1} + X_6 d_{j6} + X_7 d_{j7} + X_{12} d_{j12}) \sin \alpha_1 + (X_2 d_{j2} + X_5 d_{j5} + X_8 d_{j8} + X_{11} d_{j11}) \sin \alpha_2 + (X_3 d_{j3} + X_4 d_{j4} + X_9 d_{j9} + X_{10} d_{j10}) \sin \alpha_3 \} \\
 d_k &= P d_{kr} - \{ (X_1 d_{k1} + X_6 d_{k6} + X_7 d_{k7} + X_{12} d_{k12}) \sin \alpha_1 + (X_2 d_{k2} + X_5 d_{k5} + X_8 d_{k8} + X_{11} d_{k11}) \sin \alpha_2 + (X_3 d_{k3} + X_4 d_{k4} + X_9 d_{k9} + X_{10} d_{k10}) \sin \alpha_3 \} \\
 d_l &= P d_{lr} - \{ (X_1 d_{l1} + X_6 d_{l6} + X_7 d_{l7} + X_{12} d_{l12}) \sin \alpha_1 + (X_2 d_{l2} + X_5 d_{l5} + X_8 d_{l8} + X_{11} d_{l11}) \sin \alpha_2 + (X_3 d_{l3} + X_4 d_{l4} + X_9 d_{l9} + X_{10} d_{l10}) \sin \alpha_3 \}
 \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 式を (1) 式に代入し、(2) 式と合わせて 14 元連立方程式を作り、未知数 $X_1, \dots, X_{12}$, d_{H_1} , d_{H_2} を求める。

トラスの軸力は、上弦材の軸力 $U = -(M^0 - \Sigma M^1 N)/h$, 下弦材の軸力 $L = (M^0 - \Sigma M^1 N)/h$, 斜材の軸力 $D = -(S^0 - \Sigma S^1 N)/\sin \theta$, ここに、 M^0, S^0 : 基本系 3 径間連続橋の応力, M^1, S^1 : 基本系 3 径間連続橋のケーブル取付点の単位荷重当りの応力, $N = X \sin \alpha$:

ケーブル張力の鉛直分力, h : トラスの高さ

表-2 不 静 定 力 算 出 用 の 連 立 方 程 式 表 示

0	$H_1 \cos \alpha_1$	$H_2 \cos \alpha_2$	$H_3 \cos \alpha_3$	$-H_3 \cos \alpha_3$	$-H_4 \cos \alpha_4$	$-H_1 \cos \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0	d_{H_1}	0
$-\cot \alpha_1$	$\frac{L_1 EA \sin \alpha_1}{t_{H_1} \sin \alpha_1}$	$d_{a1} \sin \alpha_2$	$d_{a2} \sin \alpha_3$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a1} \sin \alpha_1$	$d_{a2} \sin \alpha_2$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	$d_{a7} \sin \alpha_7$	0	X_1	d_{ar}
$-(H_1/H_2) \cot \alpha_1$	$d_{a1} \sin \alpha_2$	$\frac{L_2 EA \sin \alpha_2}{t_{H_2} \sin \alpha_2}$	$d_{a2} \sin \alpha_3$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a1} \sin \alpha_1$	$d_{a2} \sin \alpha_2$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	$d_{a7} \sin \alpha_7$	0	X_2	d_{br}
$-(H_1/H_3) \cot \alpha_1$	$d_{a1} \sin \alpha_2$	$d_{a2} \sin \alpha_3$	$\frac{L_3 EA \sin \alpha_3}{t_{H_3} \sin \alpha_3}$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a1} \sin \alpha_1$	$d_{a2} \sin \alpha_2$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	$d_{a7} \sin \alpha_7$	0	X_3	d_{cr}
$-(H_1/H_4) \cot \alpha_1$	$d_{a1} \sin \alpha_2$	$d_{a2} \sin \alpha_3$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$\frac{L_4 EA \sin \alpha_4}{t_{H_4} \sin \alpha_4}$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a1} \sin \alpha_1$	$d_{a2} \sin \alpha_2$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	$d_{a7} \sin \alpha_7$	0	X_4	d_{dr}
$-(H_1/H_5) \cot \alpha_1$	$d_{a1} \sin \alpha_2$	$d_{a2} \sin \alpha_3$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$\frac{L_5 EA \sin \alpha_5}{t_{H_5} \sin \alpha_5}$	$d_{a1} \sin \alpha_1$	$d_{a2} \sin \alpha_2$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	$d_{a7} \sin \alpha_7$	0	X_5	d_{er}
$\cot \alpha_1$	$d_{a1} \sin \alpha_2$	$d_{a2} \sin \alpha_3$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$\frac{L_6 EA \sin \alpha_6}{t_{H_6} \sin \alpha_6}$	$d_{a1} \sin \alpha_1$	$d_{a2} \sin \alpha_2$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	0	X_6	d_{fr}
0	$d_{a1} \sin \alpha_2$	$d_{a2} \sin \alpha_3$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	$\frac{L_7 EA \sin \alpha_7}{t_{H_7} \sin \alpha_7}$	$d_{a1} \sin \alpha_1$	$d_{a2} \sin \alpha_2$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	X_7	d_{gr}
0	$d_{a1} \sin \alpha_2$	$d_{a2} \sin \alpha_3$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	$d_{a7} \sin \alpha_7$	$\frac{L_8 EA \sin \alpha_8}{t_{H_8} \sin \alpha_8}$	$d_{a1} \sin \alpha_1$	$d_{a2} \sin \alpha_2$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	X_8	d_{hr}
0	$d_{a1} \sin \alpha_2$	$d_{a2} \sin \alpha_3$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	$d_{a7} \sin \alpha_7$	$d_{a8} \sin \alpha_8$	$\frac{L_9 EA \sin \alpha_9}{t_{H_9} \sin \alpha_9}$	$d_{a1} \sin \alpha_1$	$d_{a2} \sin \alpha_2$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	X_9	d_{ir}
0	$d_{a1} \sin \alpha_2$	$d_{a2} \sin \alpha_3$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	$d_{a7} \sin \alpha_7$	$d_{a8} \sin \alpha_8$	$d_{a9} \sin \alpha_9$	$\frac{L_{10} EA \sin \alpha_{10}}{t_{H_{10}} \sin \alpha_{10}}$	$d_{a1} \sin \alpha_1$	$d_{a2} \sin \alpha_2$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	X_{10}	d_{jr}
0	$d_{a1} \sin \alpha_2$	$d_{a2} \sin \alpha_3$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	$d_{a7} \sin \alpha_7$	$d_{a8} \sin \alpha_8$	$d_{a9} \sin \alpha_9$	$d_{a10} \sin \alpha_{10}$	$\frac{L_{11} EA \sin \alpha_{11}}{t_{H_{11}} \sin \alpha_{11}}$	$d_{a1} \sin \alpha_1$	$d_{a2} \sin \alpha_2$	X_{11}	d_{kr}
0	$d_{a1} \sin \alpha_2$	$d_{a2} \sin \alpha_3$	$d_{a3} \sin \alpha_3$	$d_{a4} \sin \alpha_4$	$d_{a5} \sin \alpha_5$	$d_{a6} \sin \alpha_6$	$d_{a7} \sin \alpha_7$	$d_{a8} \sin \alpha_8$	$d_{a9} \sin \alpha_9$	$d_{a10} \sin \alpha_{10}$	$d_{a11} \sin \alpha_{11}$	$-\cot \alpha_1$	X_{12}	d_{lr}	
0	0	0	0	0	0	0	$-H_1 \cos \alpha_1$	$-H_2 \cos \alpha_2$	$-H_3 \cos \alpha_3$	$H_3 \cos \alpha_3$	$H_2 \cos \alpha_2$	$H_1 \cos \alpha_1$	0	d_{H_2}	0

(3) 応力計算

表-2 に示す 14 元連立方程式を作り, 未知数 $X_1 \dots X_{12}$, d_{H_1} , d_{H_2} を電子計算機にかけ求め, 基本形の影響値と組み合わせて上弦材・下弦材・斜材の軸力影響線を求めた。

この場合, ケーブルの軸張力の影響を考慮しない基本形の連続トラス橋と本斜張橋(ケーブルの軸張力の影響を考慮したもの)との比較を試みた。

次に, 各部材の軸力影響線を用い, 設計上の部材軸力を計算し, 基本形の連続トラス橋の部材軸力との比較吟味をも行なってみた。

(4) 断面決定

設計上の部材軸力により, 上弦材・下弦材・斜材における各部材断面を決定し, 許容応力と実応力との比較考察を行なつた。

また, 基本形の連続トラス橋とのそれぞれの部材における最大断面の比較吟味をも行なつてみた。(表-3 ~ 表-6 参照)

(5) その他

上述の主構に関する力学的検討のほか, 塔の軸力, 死・活荷重による曲げモーメント, 死・風荷重による曲げモーメント, 死・活荷重・風荷重による曲げモーメント, 死・地震

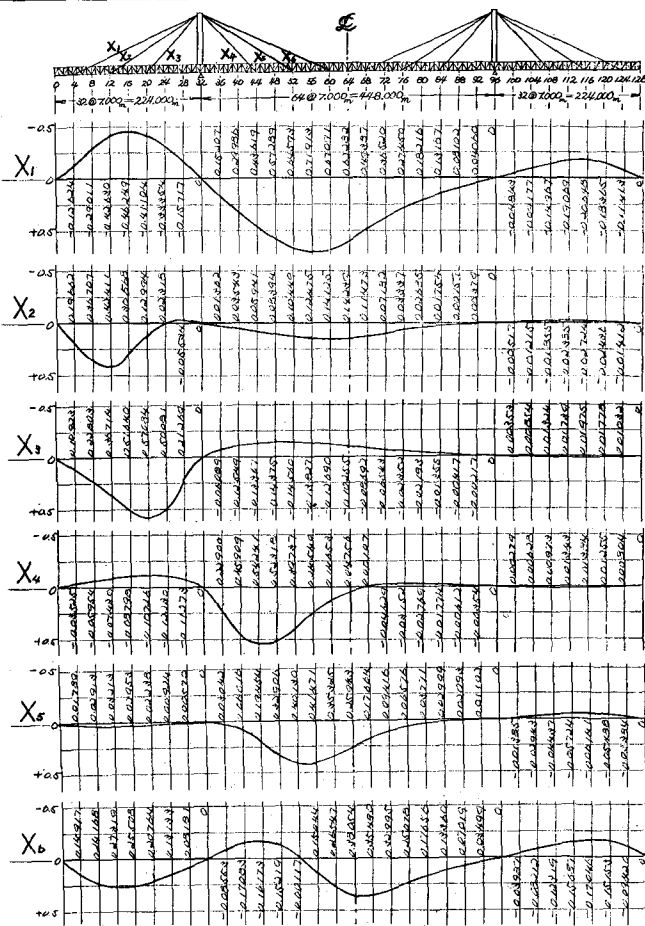


図-3 ケーブルの軸張力影響線

荷重による曲げモーメント、鋼床板に作用する応力などに關する一通りの検討を行なつた。

表一三 本斜張橋の上弦材 (U) の設計断面

桁番	設計力	断 面	断面2次モーメント	実応力	許容応力	材質	細長比
U ₁	-1058.87	$\begin{Bmatrix} I_{x-Comp} 160.0 \times 10 \\ I_{x-Web} 160.0 \times 10 \\ I_{x-Butt} 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	30471.47 cm ⁴	$\sigma_c = 125.7 \%$	$\sigma_t = 12.92 \%$	SM41	$\lambda = 11.64$
U ₂	1071.62	$\begin{Bmatrix} 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	2827960 cm ⁴	$\sigma_c = 137.0 \%$	$\sigma_t = 1400 \%$	SM41	$\lambda = 11.64$
U ₃	3708.17	$\begin{Bmatrix} 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	5036741 cm ⁴	$\sigma_c = 276.7 \%$	$\sigma_t = 2800 \%$	HT50	$\lambda = 11.42$
U ₄	8023.81	$\begin{Bmatrix} 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	8319609 cm ⁴	$\sigma_c = 357.2 \%$	$\sigma_t = 3600 \%$	HT70	$\lambda = 11.37$
U ₅	1681.18	$\begin{Bmatrix} 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	3364692 cm ⁴	$\sigma_c = 186.2 \%$	$\sigma_t = 1900 \%$	SM50	$\lambda = 11.46$
U ₆	-3431.28	$\begin{Bmatrix} 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	5534674 cm ⁴	$\sigma_c = 234.3 \%$	$\sigma_t = 2374 \%$	SM58	$\lambda = 11.39$
U ₇	-6202.49	$\begin{Bmatrix} 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	7022624 cm ⁴	$\sigma_c = 331.1 \%$	$\sigma_t = 3348 \%$	HT70	$\lambda = 11.45$
U ₈	-6998.53	$\begin{Bmatrix} 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	7942322 cm ⁴	$\sigma_c = 330.4 \%$	$\sigma_t = 3347 \%$	HT70	$\lambda = 11.44$

表一四 本斜張橋の下弦材 (L) の設計断面

桁番	設計力	断 面	断面2次モーメント	実応力	許容応力	材質	細長比
L ₁	1050.69	$\begin{Bmatrix} I_{x-Comp} 144.0 \times 10 \\ I_{x-Web} 160.0 \times 10 \\ I_{x-Butt} 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	3000476 cm ⁴	$\sigma_c = 132.9 \%$	$\sigma_t = 1400 \%$	SM41	$\lambda = 11.33$
L ₂	-1102.65	$\begin{Bmatrix} 145.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	2199164 cm ⁴	$\sigma_c = 125.1 \%$	$\sigma_t = 1291 \%$	SM41	$\lambda = 11.62$
L ₃	-3730.26	$\begin{Bmatrix} 145.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	6089564 cm ⁴	$\sigma_c = 236.7 \%$	$\sigma_t = 2374 \%$	SM58	$\lambda = 11.49$
L ₄	-8013.19	$\begin{Bmatrix} 151.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	9660544 cm ⁴	$\sigma_c = 326.9 \%$	$\sigma_t = 3350 \%$	HT70	$\lambda = 11.15$
L ₅	-1961.67	$\begin{Bmatrix} 146.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	3349289 cm ⁴	$\sigma_c = 173.0 \%$	$\sigma_t = 1780 \%$	SM50	$\lambda = 11.99$
L ₆	3246.19	$\begin{Bmatrix} 146.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	4843179 cm ⁴	$\sigma_c = 257.9 \%$	$\sigma_t = 2600 \%$	SM58	$\lambda = 11.29$
L ₇	6194.67	$\begin{Bmatrix} 148.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	6544867 cm ⁴	$\sigma_c = 355.7 \%$	$\sigma_t = 3600 \%$	HT70	$\lambda = 11.42$
L ₈	7045.58	$\begin{Bmatrix} 149.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	7805661 cm ⁴	$\sigma_c = 351.9 \%$	$\sigma_t = 3600 \%$	HT70	$\lambda = 11.22$

表一五 本斜張橋の斜材 (D) の設計断面

桁番	設計力	断 面	断面2次モーメント	実応力	許容応力	材質	細長比
D ₁	494.49	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 139.8 \times 10 \\ I_{x-2} 110.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 906923 \text{ cm}^4 \\ I_{x-2} 1545731 \text{ cm}^4 \end{Bmatrix}$	$\sigma_c = 98.9 \%$	$\sigma_t = 1400 \%$	SM41	$\lambda = 25.79$
D ₂	2025.89	$\begin{Bmatrix} 137.8 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 2651060 \text{ cm}^4 \\ I_{x-2} 3412945 \text{ cm}^4 \end{Bmatrix}$	$\sigma_c = 189.1 \%$	$\sigma_t = 1900 \%$	SM50	$\lambda = 22.09$
D ₃	3552.32	$\begin{Bmatrix} 136.2 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 2521930 \text{ cm}^4 \\ I_{x-2} 4779707 \text{ cm}^4 \end{Bmatrix}$	$\sigma_c = 165.2 \%$	$\sigma_t = 1700 \%$	SM50	$\lambda = 22.10$
D ₄	-7293.23	$\begin{Bmatrix} 133.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 7486180 \text{ cm}^4 \\ I_{x-2} 7900064 \text{ cm}^4 \end{Bmatrix}$	$\sigma_c = 325.5 \%$	$\sigma_t = 3256 \%$	HT70	$\lambda = 19.00$
D ₅	3536.19	$\begin{Bmatrix} 136.2 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 2521930 \text{ cm}^4 \\ I_{x-2} 4779707 \text{ cm}^4 \end{Bmatrix}$	$\sigma_c = 248.3 \%$	$\sigma_t = 2488 \%$	HT50	$\lambda = 22.10$
D ₆	-2894.28	$\begin{Bmatrix} 137.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 2756398 \text{ cm}^4 \\ I_{x-2} 3988566 \text{ cm}^4 \end{Bmatrix}$	$\sigma_c = 246.1 \%$	$\sigma_t = 2483 \%$	HT50	$\lambda = 22.54$
D ₇	-1986.93	$\begin{Bmatrix} 137.8 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 2558833 \text{ cm}^4 \\ I_{x-2} 3369335 \text{ cm}^4 \end{Bmatrix}$	$\sigma_c = 190.3 \%$	$\sigma_t = 1921 \%$	SM50	$\lambda = 22.19$
D ₈	755.39	$\begin{Bmatrix} 139.8 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 1391221 \text{ cm}^4 \\ I_{x-2} 1868874 \text{ cm}^4 \end{Bmatrix}$	$\sigma_c = 114.9 \%$	$\sigma_t = 1371 \%$	SM41	$\lambda = 22.15$

表一六 本斜張橋と基本形との最大断面比較

桁番	設計力	断 面	断面2次モーメント	実応力	許容応力	材質	細長比
U ₁	18439.26	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 250.0 \times 10 \\ I_{x-2} 250.0 \times 10 \\ I_{x-3} 250.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	39249309 cm ⁴	$\sigma_c = 85.61 \%$	$\sigma_t = 3600 \%$	HT70	$\lambda = 7.37$
U ₂	8023.81	$\begin{Bmatrix} 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	6519609 cm ⁴	$\sigma_c = 357.2 \%$	$\sigma_t = 3600 \%$	HT70	$\lambda = 11.37$
L ₁	-15388.50	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 230.0 \times 10 \\ I_{x-2} 220.0 \times 10 \\ I_{x-3} 250.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	36083771 cm ⁴	$\sigma_c = 319.2 \%$	$\sigma_t = 3374 \%$	HT70	$\lambda = 8.09$
L ₂	-8013.19	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 151.0 \times 10 \\ I_{x-2} 160.0 \times 10 \\ I_{x-3} 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	9660544 cm ⁴	$\sigma_c = 326.8 \%$	$\sigma_t = 3350 \%$	HT70	$\lambda = 11.15$
D ₁	-2420.18	$\begin{Bmatrix} I_{x-1} 210.0 \times 10 \\ I_{x-2} 210.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	26242330 cm ⁴	$\sigma_c = 325.8 \%$	$\sigma_t = 3330 \%$	HT70	$\lambda = 13.25$
D ₂	-7293.23	$\begin{Bmatrix} 133.0 \times 10 \\ 160.0 \times 10 \end{Bmatrix}$ cm ⁴	7486180 cm ⁴	$\sigma_c = 325.5 \%$	$\sigma_t = 3256 \%$	HT70	$\lambda = 19.00$

5. 結 論

本斜張橋の設計試案によれば、基本形としての連続トラス橋に比べ、上部骨組鋼重で21%すなわち約5000tの節約となることがあつたので、その経済性の面ではすこぶる有望と思われる。

しかし、斜張橋の架設現況からみて、支間448mは飛躍的に長大なので、風による動的挙動が問題になると思ふし、その解析理論にしても有限変形理論解析との比較吟味、トラスの節点に生ずる二次応力の検討その他にも研究の余地があるものと思ふ。なお、本研究を行なうに当つては、室蘭工業大学土木工学科卒業生、加藤孝夫、出島慶司の両君に、在学当時ご協力を頂いたことを付記し、感謝の意を表する次第である。