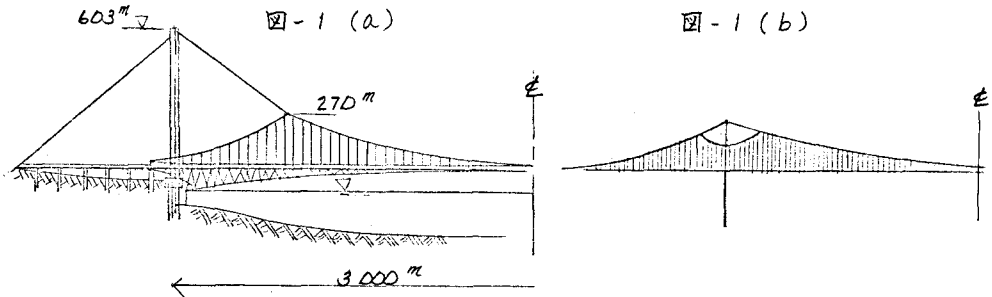


§1 まえがき

Messina Straits 架橋計画では 3000 m の海峡を渡るのに中間橋脚の施工に困難が予想されることから図-1 (a) のごとき型式が提案された。⁽¹⁾ また別に東大松本研究室では連続補剛トラス吊橋の中間支束の曲げモーメントの低減と列車の走行性の向上を図る意味から図-1 (b) の型式の吊橋の研究が進められている。これらはいずれも副ケーブルを有する吊橋と称することができるが、主塔間隔に比べて実質的に支間を短縮する効果と、実質上の支点である副ケーブルとの分岐点にバネ効果を期待する構造といえる。

本報告は、この副ケーブルを有する吊橋の解析法を論じ、2.3 の数値計算例について述べたものである。解析法としては、従来の撓度理論を拡張した解析的方法と、吊材をそれぞれ独立した部材とみなす代数的解析とを比較した。



§2 副ケーブルを有する吊橋の力学的諸条件

副ケーブルを有する吊橋が満たすべき力学条件は次の通りである。

- (i) 全橋の任意点で補剛桁のたわみ η 、たわみ角 θ 、曲げモーメント M は連続する。
- (ii) 補剛桁のせん断力 Q は左右で、吊材張力と作用格点荷重 P だけの差を生じる。
- (iii) 両橋端で補剛桁のたわみ η 、曲げモーメント M は0である。
- (iv) 全橋にわたっての主ケーブルの水平釣量は0である。
- (v) 副ケーブルを有するケーブル支間では、上下の正副ケーブルの水平伸びは一致する。
- (vi) 正副ケーブルの分岐点に作用する力は、水平・鉛直方向ともに釣り合う。

なお、この形式の吊橋もケーブルは、死荷重時に補剛桁に全く応力を生じないように張られているものとする。すなわち、主ケーブルの初期形状は放物線か、それに内接する多角形である。

条件式 (i) ~ (iv) は、通常の吊橋でも成り立つ式であり、(v)、(vi) がこの副ケーブルを有する吊橋に特有の条件式である。(vi) 式の鉛直方向の釣り合いは、ケーブル張力の水平成分が変化する点では常に付随する条件で、主塔のような系外から鉛直反力を加える機構を欠いている分岐点では、その応力に支配的の意味をもつ。今、図-2 に示されたように変形前にケーブル張力のみで釣り合っ

た分岐点。変形後、次式で表現される鉛直集中力Vだけの不均衡を生じる。

$$V = (H_{t1} - H_{t2}) \Delta \alpha - H_{t1} \Delta \beta - H_{t2} \Delta \gamma + (H_1 - H_2) \tan \alpha - H_2 \tan \gamma - H_1 \tan \beta \quad (1)$$

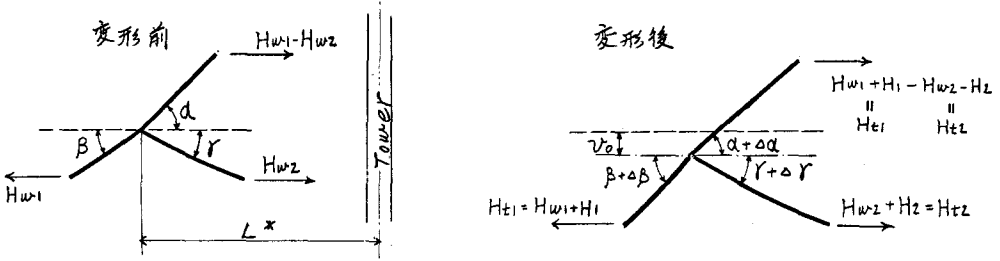


図-2

副ケーブルを有する吊橋の解析は (i)~(iv) の通常の吊橋の条件式を満たす他に、(v) の水平移動の条件を満たし、(1) 式 V を内部的に打消すような理論でなければならぬ。

§3 撓度理論

いわゆる撓度理論は、吊材を連続した伸縮しない膜とするものであって、補剛桁のためみりは次の微分方程式を満足する。

$$EI \frac{d^4 \eta}{dx^4} - (H_w + H) \frac{d^2 \eta}{dx^2} = p - \frac{H}{r} \quad (2)$$

撓度理論にあつては吊材張力は分布荷重と同じであるから (ii) のせん断力も連続する。しかし副ケーブルの分岐では、(1) の V を解消するため鉛直集中力も仮えられなければならない。この V は補剛桁に仮えられ、分岐直下の補剛桁に V だけの左右せん断力差を生じる。このとき (1) 式の $\Delta \alpha$ 、 $\Delta \beta$ 、 $\Delta \gamma$ は補剛桁のためみりとケーブルのためみりが等しいことから、次式で表現される。

$$-\Delta \beta = \Delta \gamma = \frac{d\eta}{dx} \quad \Delta \alpha = \frac{\eta_0}{Lx} \quad (3)$$

以上の考え方のもとに、条件式 (i)~(vi) を解くことにより撓度理論の解法は完結する。しかし (1) 式の V は時として数百トンの大きさに達し、しかもこの値は吊材長最大の点であるから、伸びの影響が無視できない場合が生ずる。又、現実副ケーブル分岐点に吊材が配されておれば、V は働かざるを得ない。このような場合も撓度理論による限り、分岐点に V が作用すると考える必要があり実橋との近似の悪化は避けられない。

§3 代数解法

吊橋の代数解法については、通常の吊橋を対象に昨年⁽²⁾も報告したが、そこに導いた、5連モーメントによる解法を副ケーブルを有する吊橋に拡張する。この方法によれば、各交点での補剛桁の中間格点での曲げモーメント m は次式で表現される。(文献(2)参照)

$$m = F^{-1} \left\{ \left[\frac{\lambda}{Hc} - KY^* \right] \eta + \frac{\lambda^2}{6E} \xi + \frac{KH}{Hc} H - \Delta t w r K d + v_0 - \eta_0 - \frac{KY^*}{\lambda} m_0 + m_1 \right\} \quad (4)$$

ここに F^{-1} は吊橋における5連モーメントマトリクスの逆行列である。昨年報告との相違は (4) 式右

辺に補剛析の支間両端のためみ η_0, η_{n+1} による項 η_0 が加わっていることであり、 η_0 は次式による。

$$\eta_0 = (\eta_0, 0, 0, \dots, 0, \eta_{n+1})$$

通常の吊橋にあっては、各支間の両端は変位であり $\eta_0 = \eta_{n+1} = 0$ 従って η_0 は無視される。

(4) 式を先の (i) ~ (vi) の条件下に解いて、右辺の未知量を定めれば代数解法による解が求まるが、

(vi) 式の取扱いは、副ケーブルの分岐に吊材を配するか否かである。

-1- 吊材を配しない場合 (1) 式 $V=0$ が成立し、分岐の真下で補剛析のせん断力は連続する。

-2- 吊材を配する場合 吊材は V に比例して伸縮し、分岐の真下の補剛析は V だけのせん断力差を左右で生ずる。

上記いずれの場合も (1) 式では、ケーブルのためみ η が用いられ、 $\Delta\beta, \Delta\gamma$ はケーブル分岐での左右の主ケーブルの相対傾斜を示し、 $\Delta\alpha$ は次式で定義される。

$$\Delta\beta = \frac{V_1 n - V_0}{L_1} \quad \Delta\gamma = \frac{V_2 n - V_0}{L_2} \quad \Delta\alpha = \frac{V_0}{L^*} \quad (5)$$

代数解法は垂直吊材を有するいわゆる吊橋にも適用でき、副ケーブルを有する吊橋にあっては実橋に十分近似したモデル化を行うことができることであるといえる。この解法では補剛析は非静定吊材張力をうける単純析とすべし。

§4 数値計算例

通常の $L=1100$ m 径間連続吊橋と、それと全長が等しく、同一の構造諸元を持った副ケーブルを有する吊橋に対し、規度理論及び代数解法による数値計算を行ってみた。図-3 (a), (b) にその一般図を示し、図-4 以下にその計算結果を示す。紙面の都合上、計算は連続吊橋の中間支点に負の最大曲げモーメントを生ずる荷重に対してのみ図示してある。副ケーブルを有する吊橋の図中符号 (I), (II), (III) は、各々 (I) 規度理論によるもの、(II) 代数解法によるもの、(III) ケーブル分岐から吊材を取去った場合の代数解法による解を示す。なお連続吊橋に対する数値計算では、規度理論、代数解法とも殆んど変らず、通常の吊橋に関する限り吊材の伸びは無視してよいという結果が出ている。

副ケーブルを有する吊橋に関しては、図-4 以下の (I), (II) の比較から明らかになるように、副ケーブルの分岐の近傍で吊材の伸びの影響が顕著である。特に分岐での吊材張力は約2倍の巨大な値に達し、吊材の伸びを無視することは補剛析のためみを著しく拘束することから明らかである。しかし (I), (II) とともに 1000 ton を越える値を与え、吊材の破断の問題が生じる。又、図示はしてないが、負の V を最大にする荷重配置では、(I), (II) とともに -500 ton を越え、座屈に耐えられない値を与える。これに対し (III) の型式は、負の最大曲げモーメント、吊材張力とも (I), (II) に比べ著しく減少している。これは明らかにか V の分散効果によって、吊材張力がかかり均等化されたためによる。又 (I), (II), (III) とともに、側支間のためみで、正の曲げモーメントが、連続吊橋に比して著しく小さくなっているが、これは側支間のケーブル張力が小さく、従って吊橋としての効果が弱ることによる。実際このデータでは、載荷々重に対する、ケーブルの分担率は2割程度である。勿論入力データの選択にも一考を必要とするであろうが、以上の結果から、副ケーブルを有する吊橋の解折は代数解法によるべきであり、ケーブ

ル分岐には吊材を配しない方がよいと考えることが出来る。

なお、この形式の吊橋に対しては、横方向の拘束が弱いため、風荷重による変形も大きな問題であり、Messina 架橋計画にみられるように水平面内にもサグモツける等の考慮が必要となる。又、ケーブルの分岐の角変化によって生ずる二次応力に対する配筋等、問題は少くない。

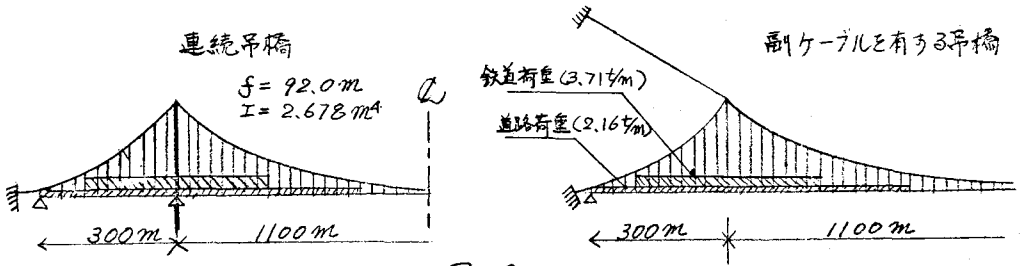


図-3

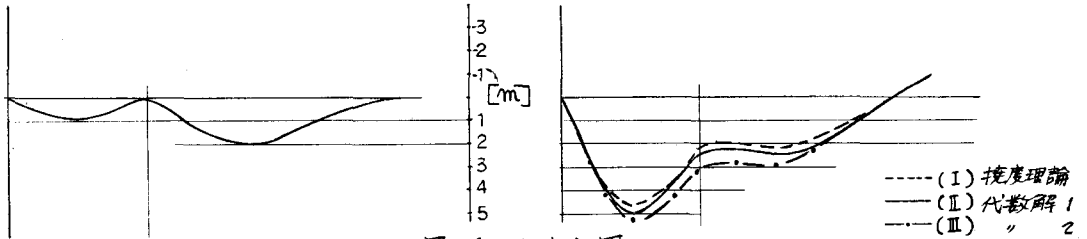
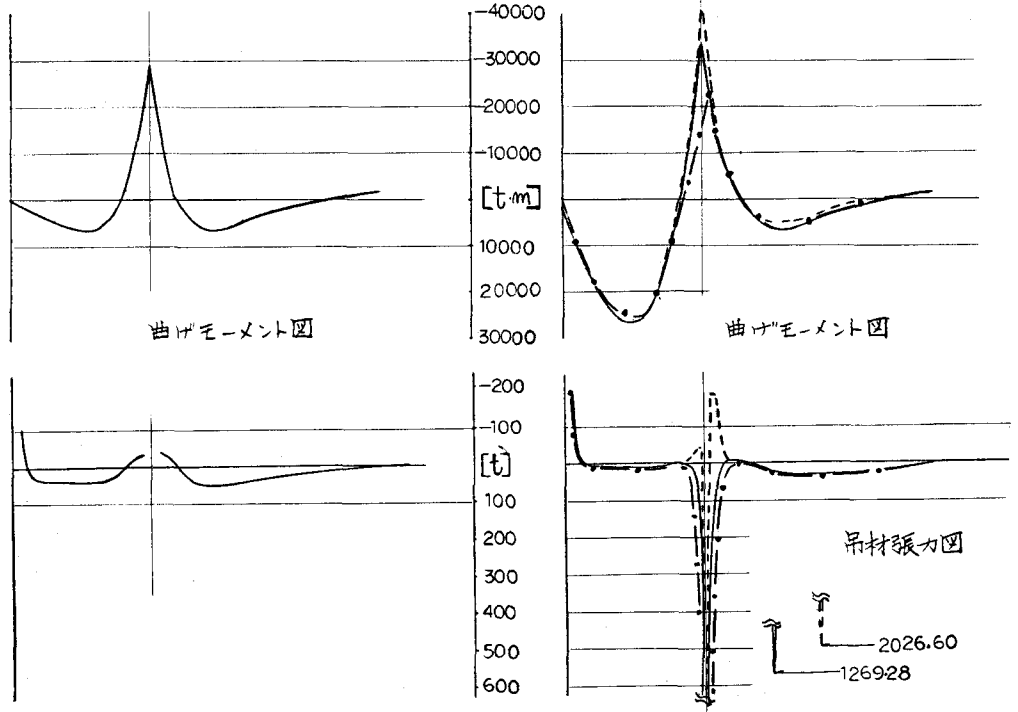


図-4 たわみ図



参考文献

- (1) 橋梁と基礎 V&L 5 No.6 1971 メッシナ海峡橋計画
- (2) 青柳文郎 大月哲 「吊橋の伸縮を考慮した吊橋解析について」 第26回 年次学術講演会講演集