

石川高橋磨重工 正員 ○松下貞義
 “ 正員 結城皓暁

§ 1 まえがき

2主桁橋は、経済的桁構造として、主として甲支間の橋梁に適用されることが、その設計計画に際しては、構造上の特殊性から、従来の桁橋の慣用的設計法に任ずることは、慎重を考慮に入れる必要がある。我々は、この2主桁橋について、2,3年来、検討してきたが、ここでは、2主桁橋の設計における諸問題について、現在、製作中であるトルコ国のゴールデンボーン橋を例にとり、特に、その下フランジおよびウェブにおける座屈安定に対する、設計的アプローチについて述べる。

§ 2 2主桁橋の構造

2主桁橋は、自重および橋面上の荷重を、左右2本のみの桁に受持させ、従って、主桁間隔が従来より非常に広く、下フランジ厚が厚く、そしてまた、載荷重を全2枚のウェブに受持たせ、ウェブに作用するせん断力が大きい。図-1.のように、下フランジの横方向の拘束は、エーブラースあるいは対峙構による受持させ、風荷重などの横荷重に対しては、鋼板状デッキをウェブに、両側主桁を上下フランジとしたI型断面に受持させれば、下横構は不要となる。偏心荷重による捻りに対しては、2主桁の開断面であるため、両側のせん断力の偶力の形をとり、従って各主桁には、お互に逆向きのせん断力が作用するようになる。

図-1.のような断面を、2主桁橋として採用する場合に、その設計計画に当り、特に配慮すべきことのうち、ここでは、下フランジの横座屈安定と、多数の水平補剛板を補剛させ、比較的高いせん断応力を受けるウェブパネルの座屈安定の問題をとりあげる。

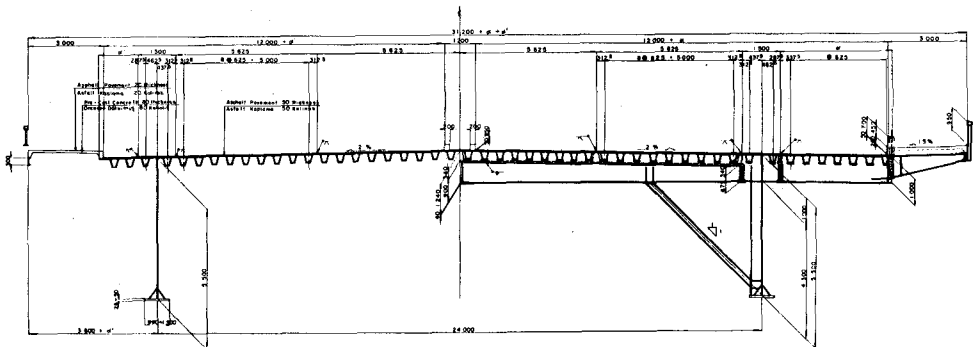


図-1

§3 下フランジ

ゴールデンホーン橋においては、下フランジの横剛度が大きく、一方、横桁、ニブレースの間隔が狭い(4.5m間隔)、従って下フランジの横座屈モードが、ニブレースの取付英び節に落ちることは必ずしも考えられないので、従来のように、フランジ固定間距離を、横桁間隔と比べた。そこでまず、下フランジの考えられる座屈形式

- (a) 下フランジの鉛直方向の局部座屈
- (b) " の局部捩り座屈
- (c) " の横座屈

のうち、(a)、(b)については、図-1のような、下フランジのウェブ、取付英の隅、コーナー7°を付けて、強度を上げることでより座屈を防止し、(c)については、下フランジを、ニブレース取付英で、弾性支持された、軸方向に軸力の変化ある柱として解析した。解析は、棒元素の変位を次のように仮定して、骨組の剛性マトリクス法による。

$$\begin{Bmatrix} u/l \\ v/l \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 3 & 3^2 & 3^3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_6 \end{Bmatrix}$$

ただし $3 = x/l$

また、ニブレース取付英での横方向弾性支持係数は、

- (1) 横桁、ニブレース、およびウェブの垂直補剛性で構成された門型ラーメンとしての横変位、
- (2) 2主桁橋全体としての曲げ捩り変位による、下フランジの横変位

の2つを考慮して算出した。さらに安定計算に用いられるこの横方向弾性支持係数は、いかに正確に計算されていても、それが、下フランジの横座屈固有値、およびモードに非常鋭敏であれば、決して安全を構成してはいえない。従って、横方向弾性支持係数の、横座屈固有値、およびモードに対する鋭敏性をチェックしておく必要がある。

図-2は、ゴールデンホーン橋のカンチレバー架設において、最も長くカンチレバーアウトリカ状態(張出し長76m)での、横座屈応力、および横座屈モードと、横方向弾性支持係数の関係を示したものである。これは、弾性支持係数を、計算値の4割に低下させても、モードはほとんど変わらないことを示している。図-3は図-2をグラフにしたもので、安全率の低下は、それほど顕著でない。

下フランジの横座屈に対する安全率は、普通、架設中において低下しているが、我々は、例えはカンチレバー架設の場合には、下記の理由により、架設中といえども、フランジについては、安全率は

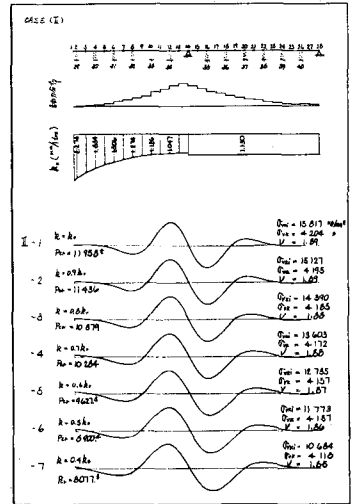


図-2

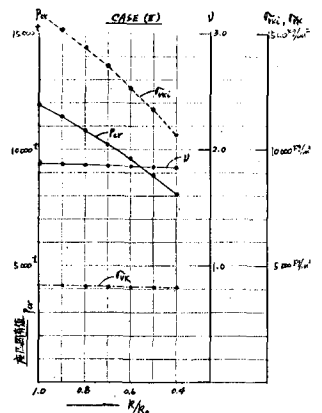


図-3

低減すべきでないとする。

- (一) この場合、下フランジの座屈は、直接、桁全体の落橋につながる。
- (二) カンチレバー架設の場合は、架設応力が、設計計画の設定通り100%作用する。
- (三) フランジの初期変形、溶接による残留応力などにより、安全率が低下する傾向にある。

図-4は、橋座屈モードに相似した初期変形(最大変形量 $\Delta = 1/1000$ 以下)を想定した場合の有限変形解析の結果の一例を示す。これにより、ニーグレスに作用する力を推定することも可能である。

図-4は、橋座屈モードに相似した初期変形(最大変形量 $\Delta = 1/1000$ 以下)を想定した場合の有限変形解析の結果の一例を示す。これにより、ニーグレスに作用する力を推定することも可能である。

一方、独逸などの欧州では、座屈固有値から座屈応力を算出する。いわゆる弾性計算が古くから行われ、数多くの水平補剛材を有する、高い桁工高の桁が設計されている。

また、最近では、Massonnet氏らにより、桁工の局部座屈(サブパネルの座屈)に対する安全率を大巾に低下させた(例えば曲げ座屈に対しては1.15)、その代りに、水平補剛材などの剛度を、必要最小剛度の3~7倍と、骨と骨の部分に強化させる設計法が提案されている。これにより、水平補剛材の本数が減り、従って溶接量も減り、注目すべき提案であるが、後座屈強度および性状などに関し、定量化、定式化、または多数による確認が行われれば、今後、より合理的な設計法として採用されるであろう。

上記3つの方法のうち、ゴールデンボーン橋では、方2の方法で桁工を設計した。すなわち桁工のタワミを

$$w = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$$

ここで a = 桁工パネル中、 b = 桁工パネル高

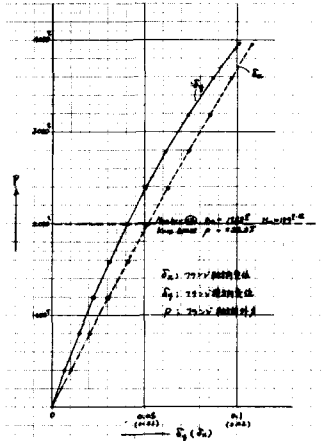


図-4

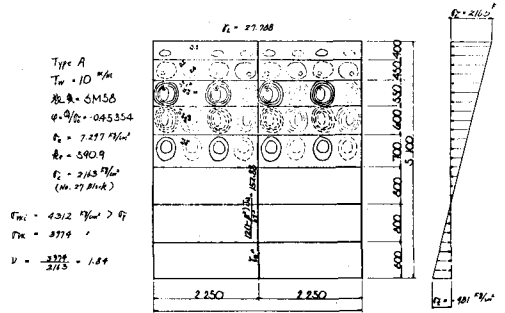


図-5

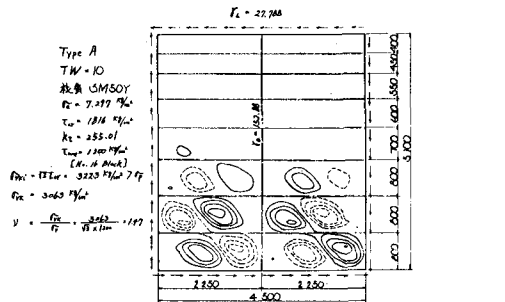


図-6

として、エネルギー法、Rayleigh-Ritzの方法を適用して、座屈固有値を算出した。

本橋は、ウェブ高5.5m、ウェブ厚10mm, 12mm, 14mmの3種類、水平補剛材は7本(7-L/25 x 75 x 7)で補剛されたウェブで構成され、水平補剛材は、カンチレバー架設のため、下フランジ部分に密に配置されている。

その計算結果の一例を図-5~8を示す。

ウェブの座屈に対する安全率は、完成時1.35以上を確保することを目標とした(結果的には、曲げ座屈に対しては、1.73以上確保されている)。従って、これは座屈後の最終耐力の向上を期待していることを前提としているが、本橋でも、 $1/4.35$ の模型で実験から、最終耐力の向上を確認している。

2主桁橋のウェブでは、その全応力の中で、上載荷重による応力の占める割合が、非常に大きい。従って、カンチレバー架設時のウェブの安全率は、曲げ耐力が、ウェブの座屈後、ほとんど、圧縮フランジの強度に依存することを、一語も考慮合せれば、完成時よりも高くなる。事実、本橋でも、弾性計算結果のみならず、いづれも、安全率1.8以上を確保している。

この外に、2主桁橋のウェブに関する設計上の問題点としては、水平補剛材自身の横倒れ座屈(捩り座屈)の検討も必要であり、また、水平補剛材の現場スライズ部における、細部構造についても、最近の諸外国の落橋事故例からみて、決してゆるがせにできない事項があることを銘記すべきである。

2主桁橋の下フランジ、およびウェブの座屈安定に関する設計の問題点を、具体的設計例を通じて、指摘したが、今後の2主桁橋の設計計画の一助となるべきである。我々は、トルコ国のゴールデンボーン橋に関して、フランジ、およびウェブについて、それぞれ $1/8$, $1/4.35$ の模型で、耐力実験を行って、その安全性を確認したが、それらについては、本講演会の別紙で報告している。

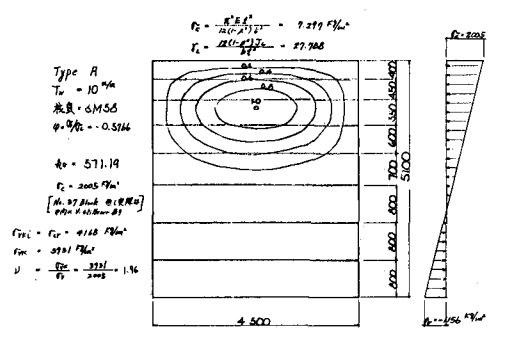


図-7

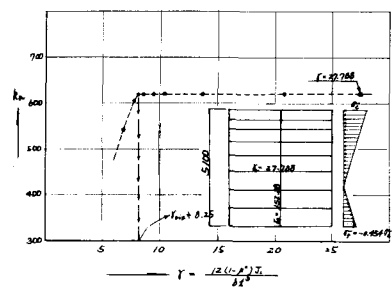


図-8