

I-168

鋼・コンクリート複合ラーメン橋（笹谷橋）の動的性状

日本道路公団

正会員 ○青木圭一

田島橋梁構造研究所

正会員 田島二郎

【目的】鋼梁とコンクリート橋脚を橋脚頭部においてプレストレスにより剛結した3径間複合ラーメン橋（笹谷橋）が平成2年9月に竣工した。この橋梁は、P C鋼棒の緊張力のみで上・下部構造を連結しており、その他は完全な縁切りとなっているために、接合面においてプレストレスが働かなくなると開口する。開口するまでの静的性状は、実験値及び2次元F E M解析から剛結している場合と同様の性状を示し、また弾性梁理論による計算値が安全側を示すことが明かとなっている¹⁾。しかし、開口後の静的挙動は、剛結構造のとは異なり、たわみ性状・応力性状等が急増することが明かとなっている。以上から、常時（死荷重+活荷重）では開口しないようにプレストレスを与えることで十分実用性があると判断された。しかし、地震時における性状、つまり開口後の挙動については不安な点もあり、笹谷橋の動的解析を行い、開口することによりその挙動がどのように変化するかを調べた。

【解析概要】笹谷橋は、上部構造は通常の鋼単純桁で、接合部に鋼製横梁を設け、この部分にコンクリートを充填しP C鋼棒の定着部とし、R C橋脚と剛結している構造であり、基礎構造は深礎杭である²⁾。そこで、上部・下部構造は棒要素によりモデル化し、地盤は深礎杭の設計基準(案)をもとに地盤反力係数からバネによりモデル化している。減衰定数は上部構造では3%、下部構造で10%と仮定し与えた。

また開口現象は、接合部に回転バネを考慮することによりモデル化している。開口量は実際には非線形に増加することが実験及び解析から明かとなっているが、本解析では線形なバネとして与えている。また、この回転バネの値は、2次元F E M解析と接合部にかかるモーメントよりフーチングからの鉄筋の抜け出しと同様に考えて、P C鋼棒の応力及びひずみ、平均付着応力から算出している（図-1 回転量の概要参照）。

2次元F E M解析では、接合面に微少な要素を挿入し、その要素に引張が生じた際には、その要素の剛性を0に近づけ、再度計算を行うもので、回転量は、繰り返し前と、繰り返し計算後のたわみの差から算出した。

$$\Delta = \frac{A_s \cdot \sigma_t \cdot \varepsilon_t}{U \cdot \tau_m} \quad \dots\dots\dots (式・1)$$

ここに、 Δ ：開口量

A_s ：鉄筋断面積 U ：鉄筋の周長

σ_t ：鉄筋の応力 ε_t ：鉄筋の歪

τ_m ：フーチング内鉄筋の平均付着応力

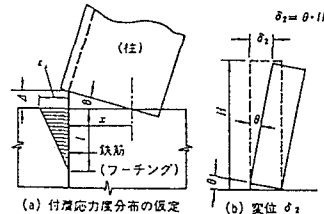


図-1 回転量の概要図

この式から求まる開口量を考慮した荷重-たわみ関係を模型における実験値と比べると、図-2、図-3に示す様に、この式によるたわみ量は実験値よりも大きめの値であり、この式を使用することで安全側の結果が得られると判断される。

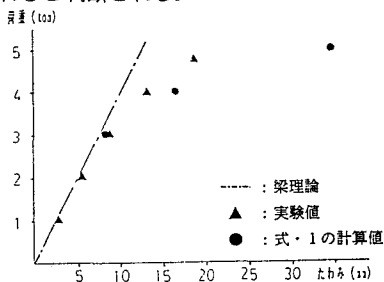


図-2 荷重-開口量関係

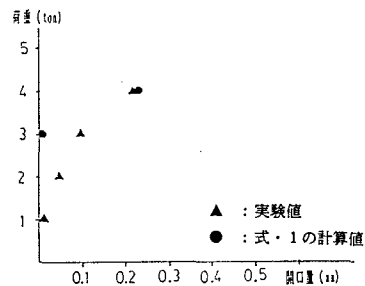


図-3 荷重-たわみ関係

笹谷橋の平面骨組による静的計算では、接合部にかかるモーメントは、表-1に示す通りである。つまり接合部にかかるモーメントの最大値は、 $2167\text{ t}\cdot\text{m}$ であり、この時の回転バネ定数は、式・1から、 $2.06 \times 10^{10}\text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ と算出される。また、2次元FEM解析からは、 $1.4 \times 10^8\text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ と算出された。そこで、回転バネ定数をパラメータとし、 $0\text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ の場合から剛結の場合と変化させ、運動方程式を解くことにより固有値解析を行った結果を以下に示す。

表-1 接合部にかかるモーメント

	接合部にかかるモーメント ($\text{t}\cdot\text{m}$)
死荷重	648.54
活荷重	935.12
地震荷重（修正震度法より設計震度0.23）	1518.57
死荷重+地震荷重	2167.11

【笹谷橋の性状】接合部が剛結の場合、回転バネ定数を $10^{10}\text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ 、 $0\text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ とした時の固有振動モードを図-4に示す。バネ定数が $10^{10}\text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ の場合は、剛結されている場合と同様のモード図であり、その固有周期は何れも1.0273秒である。より詳細にこの変化を調べるために、接合部の回転バネ定数の違いによる固有振動数の変化を図-5に示す。この図からもわかるように、その挙動が変化するのは $10^5 \sim 10^7\text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ の値であり、つまり、 $10^{10}\text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ 及び $10^8\text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ では剛結されている場合と十分同様の性状を示すことがわかる。従って、（死荷重+地震荷重）ではその挙動は接合部が剛結されている場合と同様の性状を示すと思われる。

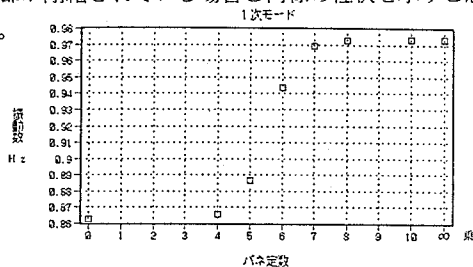


図-5 バネ定数-振動数関係

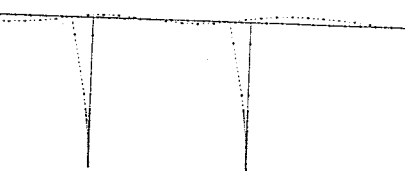
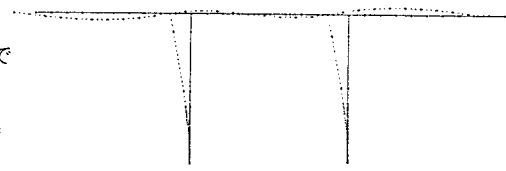
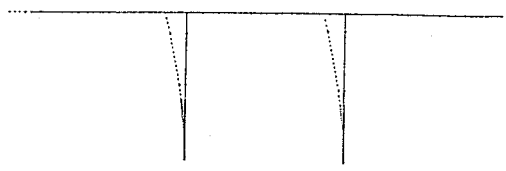


図-4 (1) 剛結のモード図

図-4 (2) $10^{10}\text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ のモード図図-4 (3) $0\text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ のモード図

【結論】鋼とコンクリートをPC鋼棒により緊結一体とさせた構造物においては、開口荷重を常時荷重（死荷重+活荷重）とすることで十分安全であり、地震等によって開口しても、その挙動は剛結されている場合とほぼ同様の挙動を示すと思われる。

今後は、より合理化を図るために、アンカー部構造詳細の簡易化、最小限のプレストレス量の決定、PC鋼棒を考慮したFEM解析及び非線形形の回転バネを考慮した解析及び地盤バネの非線形性の考慮等が必要である。

- 【参考文献】（1）田島二郎・町田篤彦・吉田修／鋼・コンクリート複合ラーメン構造接合部の性状／土木学会第44回年次学術講演概要集／平成元年10月
（2）大山進司・白木勝美・田島二郎・町田篤彦／鋼・コンクリート複合ラーメン橋（笹谷橋）の設計／土木学会第45回年次学術講演会講演概要集／平成2年9月