

I-A 447 外ケーブル方式によるプレストレストコンクリート鋼合成桁の振動性状に関する一考察

山口大学大学院 学生員 鄭 勝仁
熊 谷 組 正会員 中沢秀樹
山口大学工学部 正会員 宮本文穂

1. はじめに これまでの著者らによる研究では、鋼橋主桁の補強工法の一つとしてその有効性が明らかとなった¹⁾外ケーブル方式によるプレストレスト力(以下「PS力」)導入補強工法に関して、単径間の鋼コンクリート合成桁を対象に、静力学的な性能評価を中心に種々の検討を試みてきた。本研究では、これまでほとんど試みられていない本補強工法を施した主桁の動力学的な性能評価として、主桁の振動 η - λ - μ (固有振動数, 減衰定数など)に着目し、本補強工法が主桁の振動性状へ与える影響に関して、理論的, 実験的な一考察を試みたものである。

2. 固有振動数算定式 本研究では、本補強工法により補強された主桁の固有振動数算定式を、図1の振動系の力学モデルから、はりの曲げ振動の方程式を基に導いている。同図から、 η - λ - μ 形式で配置された緊張材を介して導入されるPS力 P_t^0 (P_{tc}^0, P_{ts}^0) の影響を含んだ不減衰自由振動方程式は、式(1)のようになる。

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(E_s I_{vs} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) + (P_{tc}^0 + \Delta P_{tc}) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2}{\partial x^2} \{ (P_{tc}^0 + \Delta P_{tc}) e + (P_{ts}^0 + \Delta P_{ts}) a \} = \frac{\Sigma \gamma \cdot A}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (1)$$

式(1)中、曲げ振動により生じる緊張材の張力変動 ΔP_t ($\Delta P_{tc}, \Delta P_{ts}$) を振動変位 y の関数で表し、式(1)に代入して整理すると、式(2)になる。

$$E_s I_{vs} \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \left(P_{tc}^0 + \frac{24 E_s I_{vs}}{l^2} \frac{\nu}{\mu + 4 \lambda \cos \theta} \right) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\Sigma \gamma \cdot A}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (2)$$

ここで、 $\lambda = \frac{I_{vs}}{A_{vs}} + \frac{E_s I_{vs}}{E_t A_t} \frac{l_t}{l}$, $\mu = (4 \cos \theta - 3) (e \cos \theta + a \sin \theta)^2$, $\nu = (e \cos \theta + a \sin \theta) \{ (1-e) \cos \theta - a \sin \theta \}$

一般に、不減衰自由振動方程式の解は、時間 t と変位 x の関数の積の形で表せることから、式(2)の解を式(3)と仮定でき、

$$y = X(x) \cdot \cos(\omega_n t - \phi) \quad (3)$$

さらに、変位 x は、本モデルが単純支持であることから式(4)と仮定できる。

$$X(x) = D \cdot \sin \frac{n \pi}{l} x \quad (4)$$

ここで、 D :任意定数

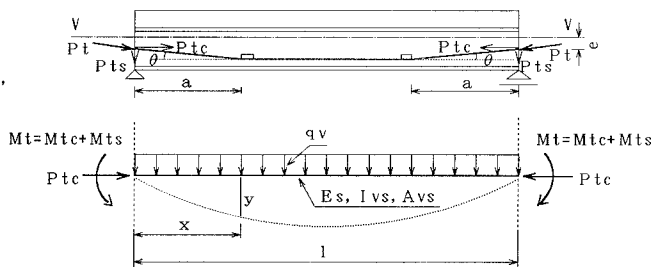
したがって、式(2)は式(3)と式(4)を代入して整理すると、式(5)になり、

$$E_s I_{vs} \left(\frac{n \pi}{l} \right)^4 - \left(P_{tc}^0 + \frac{24 E_s I_{vs}}{l^2} \frac{\nu}{\mu + 4 \lambda \cos \theta} \right) \left(\frac{n \pi}{l} \right)^2 = \frac{\Sigma \gamma A}{g} \omega_n^2 \quad (5)$$

式(5)を ω_n で解き、 $f_n = \omega_n / 2\pi$ の関係より n 次の固有振動数の算定式が式(6)のように求められる。

$$f_n = \frac{a_v \pi}{2 l^2} n^2 \sqrt{1 - \left(\frac{1}{n \pi} \right)^2 \frac{P_{tc}^0}{E_s I_{vs}} - \frac{24}{(n \pi)^2} \frac{\nu}{\mu + 4 \lambda \cos \theta}} \quad , \quad \text{ここで } a_v^2 = \frac{E_s I_{vs}}{\Sigma \gamma A} g \quad (6)$$

3. 室内実験の概要 本研究では、導入プレストレスト力(以下「導入PS力」)を η - λ - μ として、主桁の曲げ振動時の伝達関数から振動 η - λ - μ を算定し解析結果と比較するために、加振応答実験を実施した。本実験に使用した供試体は、緊張材配置を η - λ - μ 形式とし、それらを断面内配置した桁と断面外配置した桁の2種類を対象としており、緊張材にはPC鋼より線とAFRP緊張材の2種類を使用した計4体に対して加振応答実験を試みた(図2参照)。



* q_v : 分布質量 I_{vs}, A_{vs} : 鋼桁換算の断面諸量

図1 振動系の力学モデル

実験方法は、外ケーブル補強を施した主桁のL/2点上のコンクリート床版をインパルスハンマーにより加振し、下フランジ下縁で応答データを収録した。なお、加振、応答ともに加速度データを収録しており、それらから得られた伝達関数をモデル解析することで、主桁の振動パラメータを推定している。

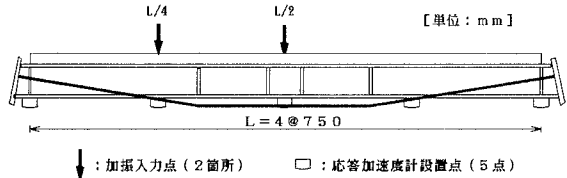


図2 供試体概略図（例：断面内配置）

4. 結果と考察 表1に実験および解析結果の一覧を示す。なお、本論文においては、実際の橋梁構造物の動的応答で種として問題となる1次振動について触れる。同表より断面内配置の実験ケースからは、導入PS力により振動パラメータに与える影響がほとんど確認できないが、断面外配置のケースでは、導入PS力の影響が顕著に見られる。図3は表1の実験値をプロットしたものであるが、同図(a)から断面内配置のケースでは、導入PS力による固有振動数に変化があるとは言えない。しかし、断面外配置のケースでのそれは、本補強工法を施す前の値と比較して、PC鋼より線の場合が約6.0%、AFRP緊張材の場合が約9.0%前後の上昇が確認された。一方、同図(b)より、減衰定数hに関しては、固有振動数の傾向と同様に、断面外配置のケースで導入PS力の影響が顕著であり、PC鋼より線が約20%、AFRP緊張材が約35%前後の低下を示す結果となった。以上のような傾向を示す理由としては、曲げ剛性が增大する断面外配置では、固有振動数が上昇するが、質量m、減衰係数cのそれぞれがほぼ一定であるため、減衰定数hは低下すると、式(7)の1自由度系の減衰定数の定義式を用いて説明ができる。

$$h = \frac{c}{2\sqrt{k \cdot m}} \quad (7)$$

しかし、曲げ剛性の上昇率(6%)を式(7)を用い減衰定数の低下率に換算すると、約4%程度の低下となり、実験値の約35%とは30ポイント近い差異が見られることから、減衰定数の低下傾向には導

入PS力だけでなく緊張材による影響が大きいことを示唆しているものと考えられる。また、表1の解析値と実験値の比較では、断面内配置よりも断面外配置の固有振動数の上昇幅が大きいことを示していることから、傾向的には両者は一致していると考えられる。しかし、両者には10Hz前後の開きが見られることから、式(6)の厳密解を今後さらに検討する必要がある。

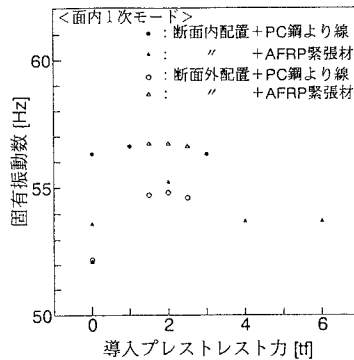
5. まとめ 以上の結果をまとめると、①本補強工法はコンクリート鋼合成桁の固有振動数を上昇させる結果が認められた。②その傾向は、主桁の曲げ剛性を高める配置形状ほど上昇率が大きくなる。③その反面、減衰定数の低下も見られることから、本補強工法を施した主桁の動的応答には、この点を考慮する必要がある。

最後に、本論文を取りまとめるにあたり、神戸大学教授の高田至郎先生、同技官の小林秀恵先生にお世話になりました。ここに謝意を表す次第である。【参考文献】1)宮本、平田、鄭：プレストレスト合成桁の弾塑性挙動解析と性能評価に関する研究、土木学会論文集No. 513/I-31, pp. 65-76, 1995. 4, 2)山口、白木、淡立：後橋プレストレスト橋の載荷実験結果の考察、三菱重工研究報告、第883号, pp. 1-10, 1958. 8

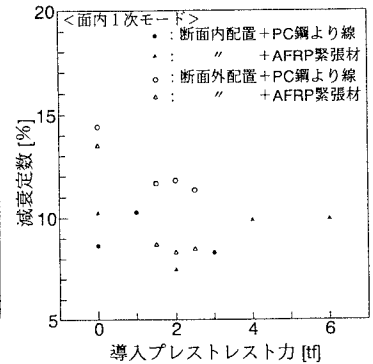
表1 実験結果と解析結果の比較

供試体 No.	振動モード PS[Fr]	実験結果		解析結果	
		[Hz]*1	[%]*2	[Hz]*1	[%]*2
断面内配置	NON-PS	56.3	8.63	62.0	
	1.0	56.6	10.24	63.1	
	3.0	56.3	8.28	63.0	
断面外配置	NON-PS	53.6	10.21	61.3	
	2.0	55.2	7.44	62.1	
	4.0	53.7	9.84	62.1	
断面外配置	AFRP緊張材	6.0	9.88	62.0	
	NON-PS	52.2	14.40	66.0	
	1.5	54.7	11.84	68.9	
断面外配置	PC鋼より線	2.0	54.8	11.77	68.9
	2.5	54.6	11.30	68.9	
断面外配置	NON-PS	52.1	13.47	64.7	
	1.5	56.7	8.68	67.0	
	2.0	56.7	8.29	67.0	
断面外配置	AFRP緊張材	2.5	56.6	8.45	67.0

注) *1:固有振動数, *2:減衰定数



(a) 固有振動数への影響



(b) 減衰定数への影響

図3 導入プレストレスト力の振動パラメータへの影響(実験結果)