

(102) 大偏心外ケーブルトラスPC連続桁構造の振動・クリープ特性について

三井建設(株) 技術研究所 ○篠崎 裕生  
 三井建設(株) 土木設計部 渡辺 宗樹  
 ドービー建設工業(株) 本店設計部 正会員 松井 敏二  
 埼玉大学工学部 建設工学科 正会員 睦好 宏史

1. はじめに

外ケーブルを支柱(ストラット)を介して桁高以上に偏心配置することによって、ケーブル緊張力を有効に利用し桁の軽量化も図れる“大偏心外ケーブルトラスPC連続桁構造”については、これまでに、単純桁および連続桁の耐荷力実験および解析<sup>(1),(2)</sup>によりその構造的特性を検討してきた。ここでは、本構造の振動特性、クリープ特性および施工誤差の影響度に着目し、実験的および数値実験的研究を行った。

2. 振動特性について

図-2(a)に示す不等2径間連続桁供試体に対して振動実験を行い、固有振動数および減衰定数を求めた。

振動実験は、桁上面に加速度計を配置し、各スパンの1/2点においてハンマーによる衝撃加振を行った。面外振動については、軸直角方向に約1.5m桁外に張り出させた鋼棒を長スパン1/2点に設置し、その先端をハンマーで衝撃加振した。試験体の外ケーブル偏向部においては、外ケーブルがサドルと接触する面にテフロンシートを貼付け摩擦を低減した。外ケーブルの初期緊張力は24.5kN、桁内PCはプレテンション方式で初期緊張力は49kN/本とした。

固有振動数と減衰定数の実験結果とFEMによる固有振動解析の結果との比較を表-1に、振動モードを

図-1に示す。固有振動解析では、主桁およびストラットを梁要素、外ケーブルをトラス要素でモデル化した。ここでは、振動特性に対して偏向部における外ケーブルとサドルとの接合条件が与える影響が大きいと考え、外ケーブルとサドルが固定されている場合(偏向部固定)とスライドする場合(偏向部スライド)の2通りを考慮した。

表-1より、解析結果は偏向部スライドの場合には、偏向部固定の場合よりも固有面内振動数が小さくなる傾向にあった。ただし、高次になるにつれその差異は小さくなっている。実験値は、低次(1次、2次)の固有面内振動数については、偏向部固定の解析値に近い結果となった。

ここで行った振動実験は振幅が微小であるため、卓越する低次の固有面内振動数については偏向部固定の条件に近かった可能性がある。実橋

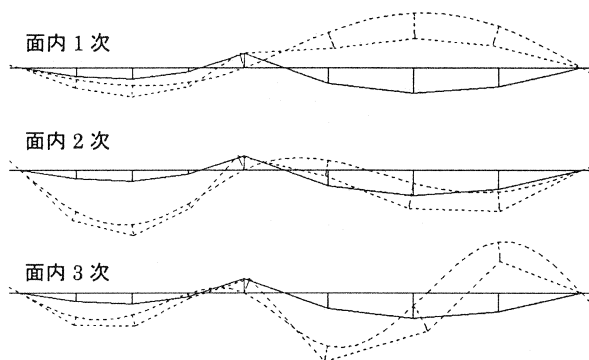


図-1 振動モード

表-1 固有振動数の比較

振動モード	実験結果		解析結果(Hz)	
	減衰定数(%)	振動数(Hz)	偏向部固定	偏向部スライド
面内1次	0.56	9.89	9.26	8.49
面内2次	0.76	21.00	19.57	19.23
面内3次	—	30.20	32.84	30.96
面内4次	—	58.96	61.87	59.89
面外1次	2.33	35.40	39.82	39.82

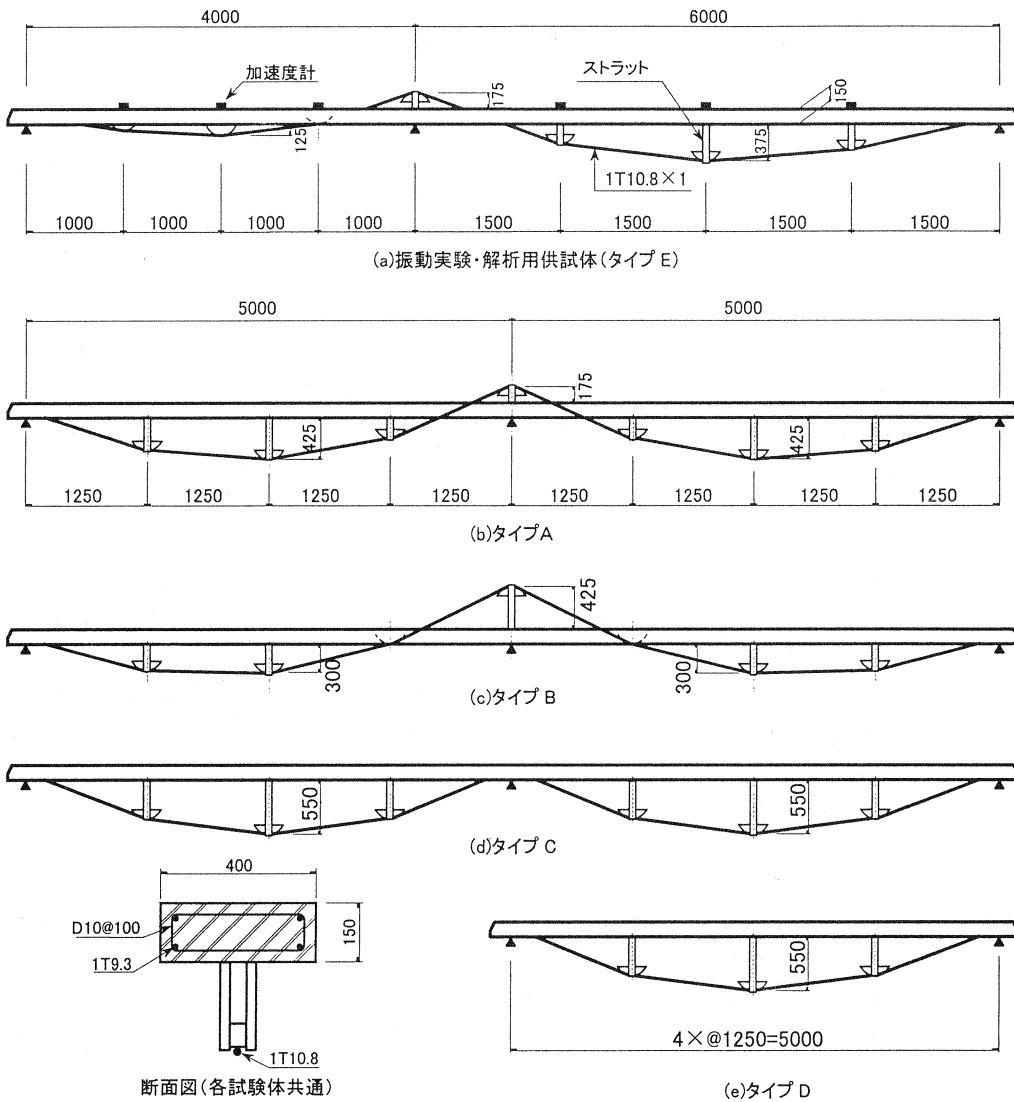


図-2 試験体形状

において、ある程度大きな振幅をもつ振動の場合には、偏向部スライドの条件に近づくことも考えられる。そのため実橋の振動特性の検討においてはスライドを考慮した場合としない場合の2通りの検討をするのが良いと考えられる。

### 3. クリープ特性

図-2に示す実験供試体5体(タイプA~E)<sup>(2)</sup>および図-4に示す試験設計を行った2径間連続歩道橋に対して、幾何的・材料非線形FEM

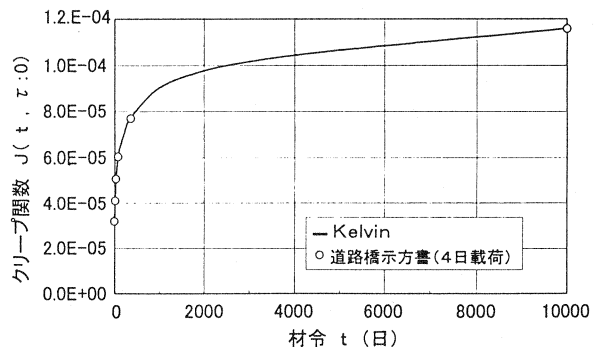


図-3 クリープ関数経時変化( $f_{ck}$ : 40N/mm<sup>2</sup>)

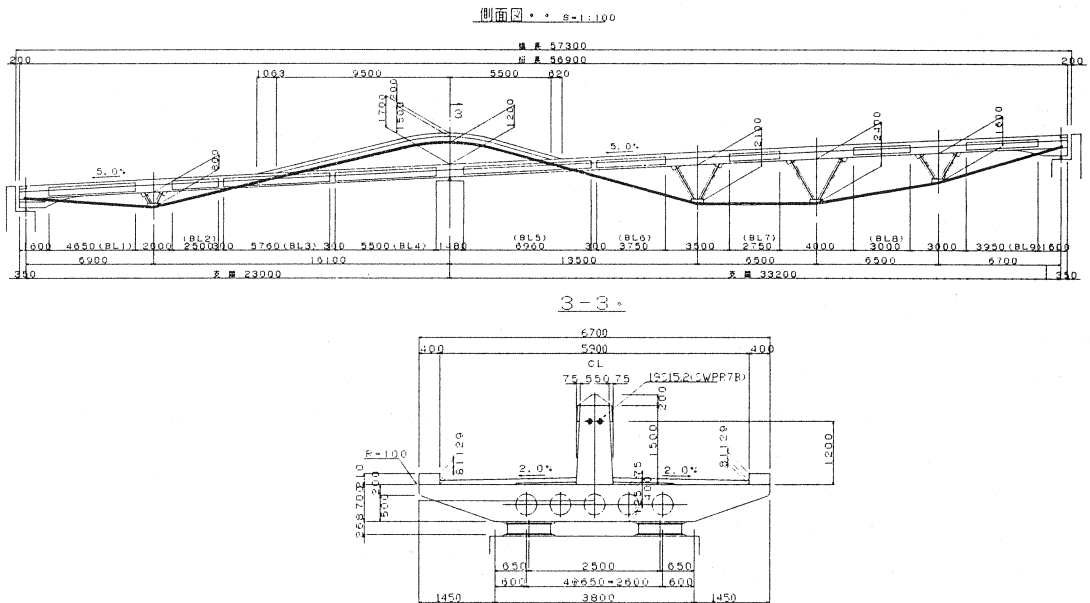


図-4 試設計歩道橋一般図

により Kelvin 粘弾性モデルを用いたクリープ解析を行った。なお、解析には道路橋示方書<sup>(3)</sup>の規定する“プレストレスの減少量を算出する場合のコンクリートの乾燥収縮度”も併せて考慮している。図-3に解析に用いたクリープ関数の経時変化を示す。

(1) 実験供試体 (タイプA～E)

図-5に内ケーブル、図-6に外ケーブル応力度の低下量を示す。

内ケーブル応力度については、いずれのタイプも解析結果による有効係数は90%程度(応力度低下量は91～93Mpa)であった。道路橋示方書の計算式(I共通編 解2.1.7)では応力度低下量は93Mpa程度。猪股博士の提案式<sup>(4)</sup>では90Mpa程度となり、解析値とほぼ一致した。

外ケーブル応力度低下量の解析結果は、タイプA～Cが130Mpa、タイプDが144Mpa、タイプEは111Mpaとなった。

外ケーブルは桁外にあるため、外ケーブル位置のコンクリート応力度という概念は厳密には存在しないが、単純に桁内の応力勾配を外ケーブル位置まで延長して求めた応力度を道路橋示方書の式に適用した場合の外ケーブル応力度低下量は、タイプA～Cが165Mpa前後、タイプDが190Mpa、タイプEは132Mpaとなりいずれも過大な値を示した。また、猪

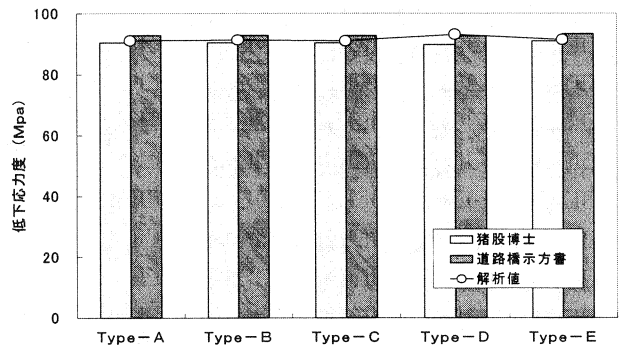


図-5 内ケーブル応力低下量

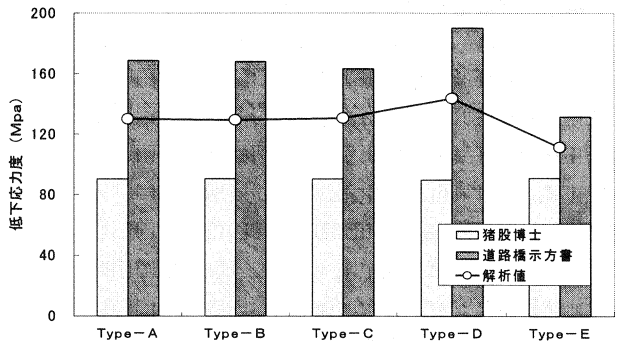


図-6 外ケーブル応力低下量

股博士の提案式は内外一律であるから 90Mpa 程度の低下量となった。

以上から、外ケーブルの応力度変動は実際の構造を適切に表現した解析モデルに基いた解析によって求めなければ大きな誤差が生じることが分かる。

(2) 試設計歩道橋

内ケーブル応力度について、解析結果、道路橋示方書、猪股博士による応力度低下量の比較を図-7に示す。長スパンの一部において 20Mpa 程度の差異があるが実用上問題となるほどの差ではなく、概ね良い合致を示した。

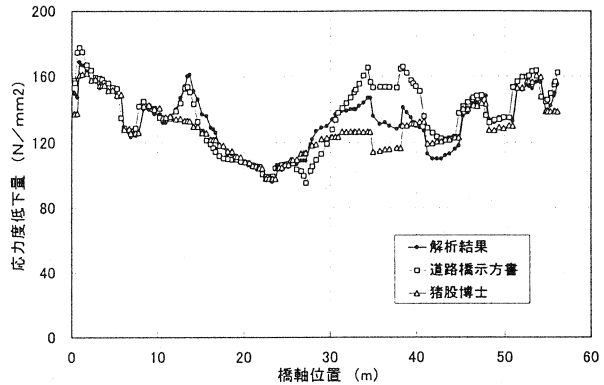


図-7 試設計歩道橋における内ケーブル応力度低下量

外ケーブル応力度については図-8に示すように、解析結果の応力度の低下量は 55Mpa 程度であった。単純に桁内の応力勾配を外ケーブル位置まで延長して求めた応力度を道路橋示方書の式に適用した場合の応力度低下量は 35Mpa~213Mpa と橋軸位置により異なる偏心量によって幅広い差異を示している。また、猪股博士の提案式は 98~137Mpa 程度の低下量であり、これも解析結果の2倍程度の値となっている。上述の実験供試体においては猪股博士の式による計算値は解析結果より小さい値を示していたが、試設計歩道橋においては逆に大きい値となった。これはクリープによる全体的な変形傾向の方向の違いに起因すると考えられる(図-9)。この意味からも、外ケーブルの応力度変動は実際の構造を適切に表現した解析モデルに基いた解析によって求めなければならないといえる。

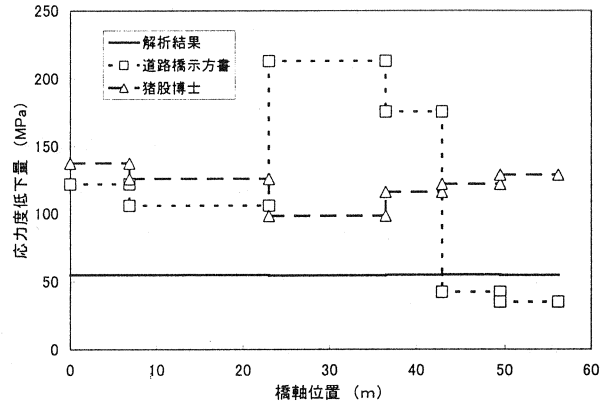


図-8 試設計歩道橋における外ケーブル応力度低下量

4. 施工誤差の影響度

本構造は軽量化を図るため主桁高さあるいは剛性が通常の桁よりも小さい。そのため施工誤差による軸線あるいは形状寸法の変動に敏感である可能性がある。ここでは、図-4に示した試設計歩道橋に対して、主桁軸線が施工誤差により変化した場合の影響度を解析的に検討した。施工誤差の仮定として、各支間長の1% ( $\Delta_1=23\text{cm}$ ,  $\Delta_2=33.2\text{cm}$ ) の鉛直誤差が各支間中央において生じるような放物線分布を主桁軸線鉛直位置のズレとして適用した(図-10)。各ストラットの長さは正規のままとし、かつストラットは鉛直に据付けられるとしたため、デビエーター位置は鉛直にのみ誤差を生じている。鉛直誤差が上方と下方に

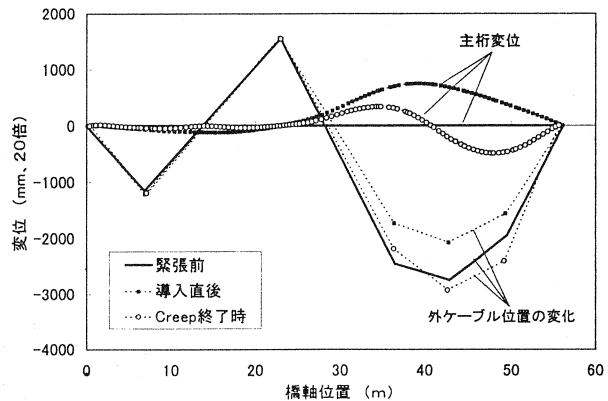


図-9 クリープによる桁の変形

各支間長の1% ( $\Delta_1=23\text{cm}$ ,  $\Delta_2=33.2\text{cm}$ ) の鉛直誤差が各支間中央において生じるような放物線分布を主桁軸線鉛直位置のズレとして適用した(図-10)。各ストラットの長さは正規のままとし、かつストラットは鉛直に据付けられるとしたため、デビエーター位置は鉛直にのみ誤差を生じている。鉛直誤差が上方と下方に

生じる場合の2通りを誤差無しの場合と比較した。

(1) 鉛直変位

図-1 1、図-1 2に施工誤差が鉛直変位に与える影響を示した。下方に誤差が生じた場合には、外ケーブルの斜角が大きくなり鉛直分力が大きくなるため、長スパン側での上方鉛直変位は緊張直後において、誤差無しより2 mm程度大きくなった。短スパン側では長スパン側のこの変位の反動として誤差無しより2 mm程度下方へ変位した。

有効時においては、クリープの進行により鉛直変位の差は増大し、下方に誤差が生じる場合、クリープ終了時には、長スパン側で誤差無しの場合よりも上方へ5 mm程度、短スパン側は下方へ7 mm程度大きく変位した。しかしながら、緊張直後および有効時いずれの場合でも、施工誤差の仮定値（短スパン中央で230mm）に比較して各ケース間の差異は小さく（3%程度）、有意な差とは言えない。

(2) 応力度

図-1 2に有効時の内ケーブル応力度に与える影響を示した。これに関しても軸線誤差の影響はわずかで、短スパンの一部で10Mpa 弱の差異が生じるだけであった。

表-2に示した外ケーブル応力度に関しても軸線誤差の影響はわずかで、有効時でも2~3Mpa 程度の差しか生じない。

内ケーブルおよび外ケーブル応力度に大きな差がないため、主桁コンクリート応力度に関してもその差異はわずかであった。誤差無しの場合と比較して最大で0.7Mpa 程度の差異が生じるに過ぎなかった。その他、支承反力については、下方に誤差が生じた場合には中間支点における反力が若干増加する傾向にあるが、有意な差ではなかった。

(3) 施工誤差のまとめ

各スパンにおいて23cm、33.2cmという実際にはとても生じない程度に大きい主桁軸線のズレが施工誤差により生じたと仮定して影響度を検討したが、何れのケースにおいても実用上有意な差異は生じないことが分

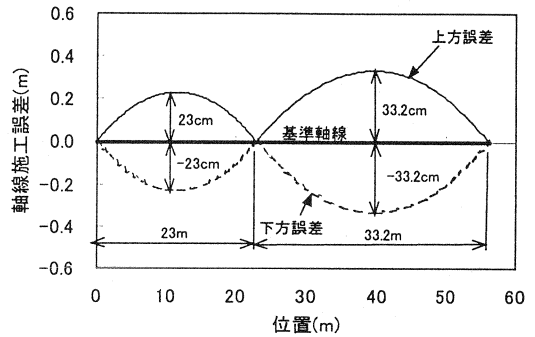


図-1 0 仮定した施工誤差

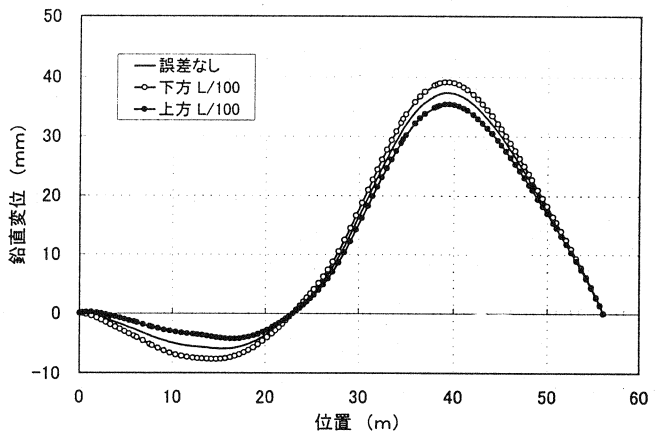


図-1 1 施工誤差の影響 (鉛直変位：緊張直後)

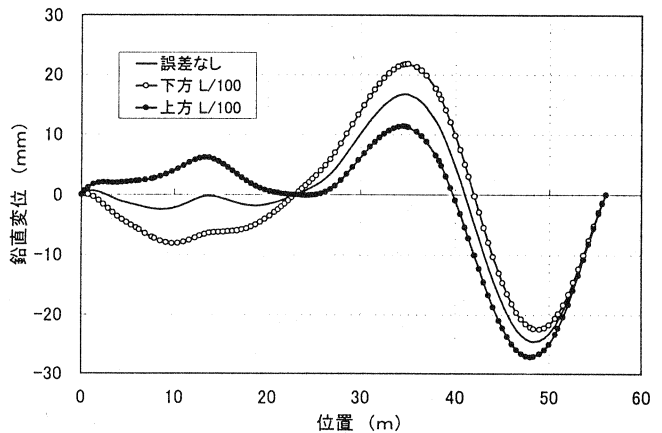


図-1 2 施工誤差の影響 (鉛直変位：有効時)

かった。直感的に施工誤差の影響の大きい印象を与える構造ではあるが、軸線の施工誤差に関しては、解析上問題は生じないことが明らかとなった。

5. まとめ

大偏心外ケーブルトラスPC連続桁構造について振動特性、クリープ特性および施工誤差の影響度に着目し、実験的および数値実験的研究を行った結果、以下のことが明らかとなった。

①実験供試体の振動実験および解析を行った結果、本構造の低次(1次、2次)の固有振動数は、偏向部における外ケーブルとサドルがスライドできる構造にもかかわらず、外ケーブルとサドルが固定されている場合の解析結果が実験結果とよく一致した。この原因として振動振幅の影響が考えられるが、設計では両方を検討する必要がある。

②実験供試体および試設計歩道橋のクリープ解析を行った結果、外ケーブルの応力度の低下量はいずれも、道路橋示方書および猪俣博士の式で計算すると、無視できない程度の差異を生じてしまうことから、設計では実際の構造を適切に表現した解析モデルに基いた解析によって求めなければならないことが分かった。

③橋軸線が支間長の1%の施工誤差を受け、上方あるいは下方に変形した場合を想定し、解析によってその影響を検討した。その結果、桁の変形、内外ケーブル応力度、主桁応力度、支承反力のいずれも有意な影響はないことが明らかとなった。

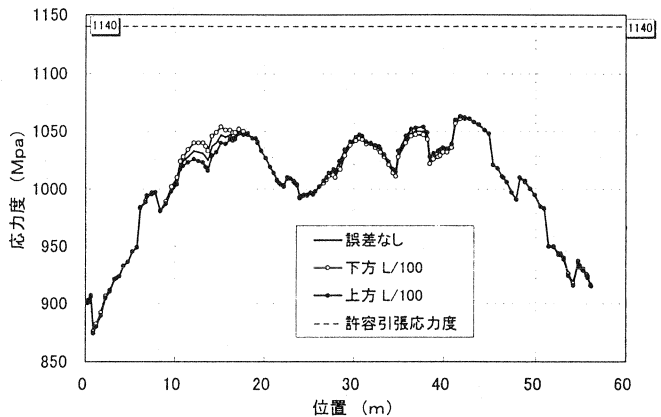


図-13 施工誤差の影響(内ケーブル応力:有効時)

表-2 施工誤差の影響(外ケーブル応力度)

	緊張直後(Mpa)	有効時(Mpa)
誤差なし	773	719
下方	772	716
上方	774	721

参考文献

1) 濱田、竹本、渡辺、篠崎：PCケーブルトラス桁の曲げ性状に関する研究、プレストレストコンクリート技術協会 第7回シンポジウム論文集、pp.437~442、1997.10  
 (2) T. ARAVINTHAN、睦好、濱田、渡辺：Experimental Investigation on the Flexural Behavior of Two Span Continuous Beams with Large Eccentricities、コンクリート工学年次論文報告集、第21巻、第3号、pp.961~966、1999  
 (3) 道路橋示方書・同解説 I 共通編、平成8年12月  
 (4) 外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準(案)、(社)プレストレストコンクリート技術協会、平成8年3月