

新形式ストラット付鋼単箱桁橋の適用性に関する研究

橋梁工学分野 竹野 宏紀

1. はじめに

近年、構造の簡略化、施工の機械化、維持補修の容易さなどの点から、少数桁橋が、支間長が 60m 以下の橋梁に対してかなり一般性のある標準形式の 1 つとして、広く普及している。しかし、この少数桁橋は、主桁本数の低減に伴う橋梁断面全体のねじり剛性の不足等により、曲線桁橋への適用には不向きであると考えられる。そこで、著者らは、これらの短所を補い得る新形式橋梁として、ストラット付鋼単箱桁橋を提案している¹⁾。このストラット付鋼箱桁橋を図-1 に示す。この形式は、1 つの箱桁と合成床版、そして床版の先端を支持するストラットおよび側縦桁から構成される橋梁形式であり、ねじり剛性が高く、施工性も向上すると考えられる。そこで、本研究では、経済的な曲線桁橋の提案および比較的長い支間を有する橋梁形式の提案を目的として、本形式橋梁の構造特性と適用性について解析的に検討することとした。



図-1 ストラット付鋼単箱桁橋

2. 床版のモデル化に関する検討

2.1. 床版のモデル化

本研究では、ストラット付鋼単箱桁橋の力学的特性等を調べるために、骨組構造解析を行う。本橋梁において、床版は、主桁の一部をなしており、梁部材であると同時に、ストラットとの間で力を伝達するせん断部材でもあり、そのモデル化は非常に重要である。そのため、梁要素を図-2 に示すように K トラス状に組み、橋面のせん断剛性を考慮できる骨組床版モデルを作成した。

対象とした床版は、単純桁橋（スパン 50m）としてストラット付鋼単箱桁橋を試設計した際のものとした。軸方向要素および軸直角方向要素の剛性は、設計で定められた断面とした。K トラス要素は、断面の幅を変化させ、床版を SOLID 要素でモデル化し、その時得られるせん断剛性に合わせるように設定

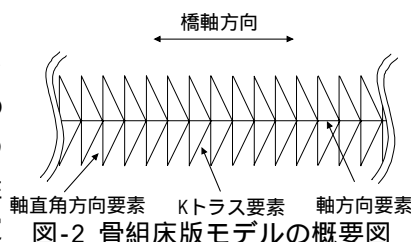


図-2 骨組床版モデルの概要図

表-1 解析ケース

解析ケース	高さ(m)	幅(m)
model-1	0.26	0
model-2	0.26	4.5
model-3	0.26	5.0
model-4	0.26	5.5
model-5	0.26	6.0

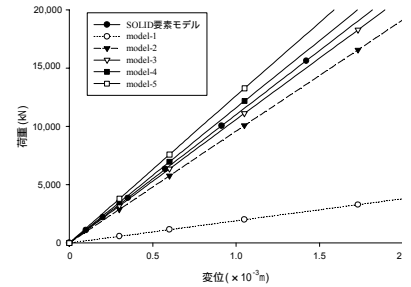


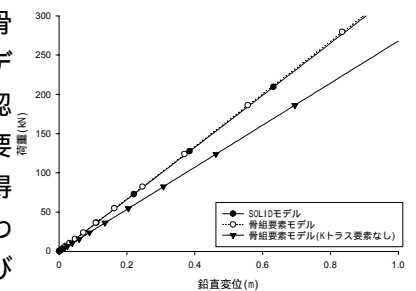
図-3 せん断剛性の比較

した。設定した解析ケースを表-1 に示す。せん断剛性は、床版長辺の片端を拘束し、他端に強制変位を与え、求めた。結果を図-3 に示す。これより、安全側で SOLID 要素の剛性と最も良く一致する、K トラスの断面幅 5.0m のものとした。

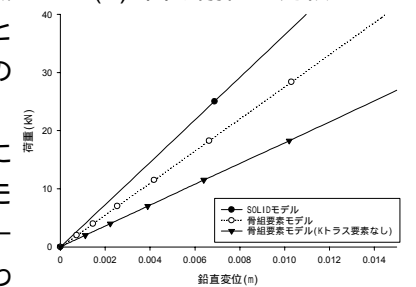
2.2. SOLID モデルとの比較

前節で設定した骨組床版モデルのモデル化の妥当性を確認するため、SOLID 要素モデルを用いて得られた橋軸直角まわりの曲げ剛性および床版端に荷重を偏載させた時のたわみとの比較を行った。その結果を図-4 に示す。

図より、曲げ剛性については、SOLID モデルと非常に良く一致していることがわかる。また、K トラス要素の剛性変化による影響も比較的小さく、軸方向要素の剛性が支配的であると考えられる。荷重偏載時のたわみについては、K トラス要素の剛性の影響が大きく、SOLID モデルと比較して、剛性が低くなっている。橋梁全体の骨組解析モデルでは、床版の張出端に側縦桁要素が軸方向に存在しており、床版端の曲げ剛性は、側縦桁要素の剛性にも大きく依存すると考えられる。したがって、実際にはこの差はより小さくなると考えられ、床版のモデル化にあたっては、本骨組床版モデルは妥当であると考えられる。



(a) 曲げ剛性の比較



(b) 荷重偏載特性の比較

図-4 SOLID モデルとの比較結果

る影響も比較的小さく、軸方向要素の剛性が支配的であると考えられる。荷重偏載時のたわみについては、K トラス要素の剛性の影響が大きく、SOLID モデルと比較して、剛性が低くなっている。橋梁全体の骨組解析モデルでは、床版の張出端に側縦桁要素が軸方向に存在しており、床版端の曲げ剛性は、側縦桁要素の剛性にも大きく依存すると考えられる。したがって、実際にはこの差はより小さくなると考えられ、床版のモデル化にあたっては、本骨組床版モデルは妥当であると考えられる。

3. ストラット配置の効果

ストラット付鋼単箱桁橋では、ストラットの配置方法が耐荷力に与える影響は大きいと考えられる。そこで、ストラットの配置法について、ねじり剛性に着目して、弾塑性有限解析プログラム EPASS²⁾により、検討した。対象形式は、単純桁橋（スパン 50m）であり、床版のモデル化の検討の際に使用したものと同一である。箱幅は、概略設計から、最も経済的であった 2.5m とした。また、比較のため箱幅 1.5m の場合についても検討した。対象解析モデルの断面を図-5 に示す。鋼材およびコンクリートの応力 - ひずみ関係はバイリニア型を仮定した。本解析で設定した材料定数を表-2 に示す。

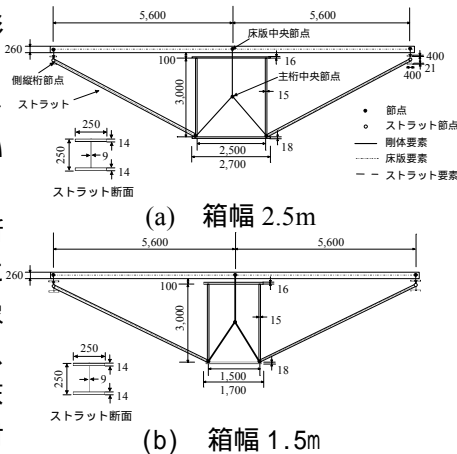


表-2 材料定数

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	降伏応力 (N/mm ²)	ひずみ硬化率 (N/mm ²)
鋼材	2.1 × 10 ⁵	0.3	353	2.1 × 10 ²
コンクリート	2.6 × 10 ⁴	0.167	23.5	26

検討したストラットの配置を図-6 に示す。解析は、片側床版端節点に線荷重を作用させる場合を基本とし、ストラットを配置しないモデルに関しては、主桁中央節点に荷重と換算モーメントを作用させることとした。曲線桁では、偏心量がより大きいと思われる外側縦桁位置に線荷重を載荷した。

表-3 に代表的な解析ケースとねじり剛性に着目したストラットの配置効果を示す。また、図-7 には、箱幅の違いによるストラット配置の効果を示した。これより、ストラットを平行に配置した場合では、ねじり剛性の上昇はみられず、シングルワレンおよびダブルワレン配置で、ねじり剛性の上昇がみられる。特に、ダブルワレン配置ではその効果が大きくなっている。しかし、ストラット本数当りの効果を考えた場合、同程度の値となっており、施工性の点から、ストラット本数が少ない、シングルワレン配置が望ましいと考えられる。

ストラットの配置間隔については、平行配置の場合では、ストラットの配置間隔が主桁のねじり角に与える影響は小さくなっている。一方、シングルワレンおよびダブルワレン配置では、配置間隔 2.5m の場合で大きく配置効果が低下しており、連続的な配置が望ましい。次に、ストラット配置間隔の変化が、断面変形に与える影響を調べるため、シングルワレン配置の場合に対して、弾塑性有限変位解析を行い、スパン中央における側縦桁および主桁の荷重と鉛直変位の関係を調べた。その結果、ストラット配置間隔を広くしたもののほど、低い荷

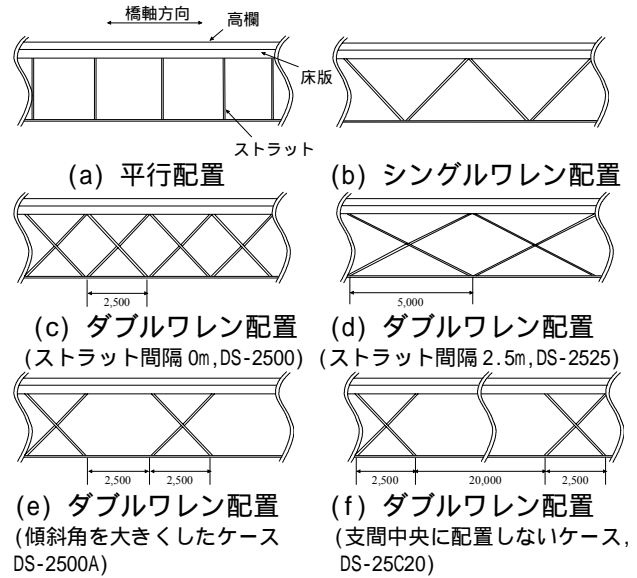


図-6 ストラット配置と配置例

表-3 解析ケースとストラットの配置効果

解析ケース	箱幅	主桁の線形	ストラット間隔	ストラット配置法	剛性	配置効果	1本当りの効果(%)
NS-25	2.5m	直線		配置なし	2.48 × 10 ⁴	1	
PS-2525	2.5m	直線	2.5m	平行	2.52 × 10 ⁴	1.016	0.077
PS-2550	2.5m	直線	5.0m	平行	2.52 × 10 ⁴	1.016	0.147
PS-25NC	2.5m	直線	支間中央なし	平行	2.62 × 10 ⁴	1.056	0.403
SS-2500	2.5m	直線	0m	シングルワレン	3.04 × 10 ⁴	1.226	1.129
SS-2525	2.5m	直線	2.5m	シングルワレン	2.72 × 10 ⁴	1.097	0.691
SS-2500A	2.5m	直線	0m	シングルワレン 傾斜角 2 倍	2.84 × 10 ⁴	1.145	1.452
SS-25NC	2.5m	直線	支間中央なし	シングルワレン	3.10 × 10 ⁴	1.25	2.083
DS-2500	2.5m	直線	0m	ダブルワレン	3.74 × 10 ⁴	1.508	1.27
DS-2525	2.5m	直線	2.5m	ダブルワレン	3.04 × 10 ⁴	1.226	1.129
DS-2500A	2.5m	直線	0m	ダブルワレン 傾斜角 2 倍	3.64 × 10 ⁴	1.468	2.339
DS-25NC	2.5m	直線	支間中央なし	ダブルワレン	3.72 × 10 ⁴	1.5	2.083

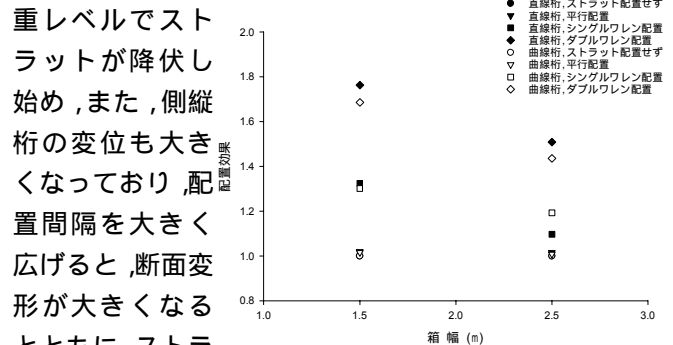


図-7 ストラット配置効果のプロット

重レベルでストラットが降伏し始め、また、側縦桁の変位も大きくなっており、配置間隔を大きく広げると、断面変形が大きくなるとともに、ストラットの負担も増加する。

4. 転倒に関する検討

ストラット付鋼単箱桁橋の主桁は単箱桁であり、支間間隔が最大で 2.5m と接近し、張出部も有することから、転倒に対する検討が必要である。そこで、横荷重載荷時の転倒について、EPASS を用いて、解析的に検討した。また、比較のため、狭小 2 主箱桁橋についても検討した。荷重は、死荷重のみを鉛直下向きに載荷した場合、死荷重と道路橋示方書³⁾の B 活荷重を橋軸直角方向に偏載したものとを鉛直下向きに載荷した場合に対して、横荷重を水平方向に荷重パラメータを用いて比例漸増載

荷した．ここで，転倒時とは支点到負反力が生じた状態とした．ここでは，支点を下部ストラット取付け位置にあるものとして，支承間隔 2.5m の場合と，図-8 に示すように張出し部を設け，狭小 2 主箱桁橋と等しい支承間隔 6.0m とした場合について検討した．

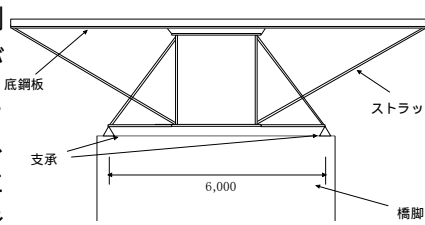


図-8 支承条件

表-4 転倒時荷重パラメータ

橋梁形式	死荷重	死荷重+活荷重
狭小 2 主箱桁橋	0.72	0.83
ストラット付鋼単箱桁橋 (支承間隔 2.5m)	0.21	0.17
ストラット付鋼単箱桁橋 (支承間隔 6.0m)	0.50	0.56

それぞれの転倒時荷重パラメータを表-4 に示す．表より，ストラット付鋼単箱桁橋は，狭小 2 主箱桁橋と比較して，転倒に対してかなり不安定であることがわかる．また，地震時の慣性力に対しては，道路橋示方書によるレベル 1 地震動に対する設計水平震度の標準値が，地盤種別 ~ に対して，それぞれ 0.16, 0.2, 0.24 (以上) であることから，支承間隔が 2.5m では，何らかの対策が必要である．

5. ケーブルを用いたプレストレス導入による曲げモーメントの改善効果

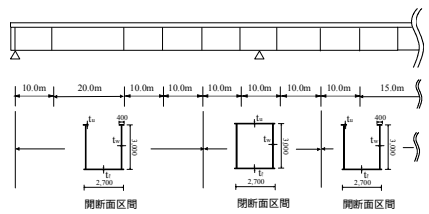
5.1. 概説

ストラット付き鋼単箱桁橋のより一層の合理化をはかるため，ケーブルプレストレスの活用を検討し，3 径間連続桁橋への適用を試みた．対象とした橋梁のスパンは，65m+80m+65m の合成床版を有するストラット付鋼単箱桁橋である．図-9 に断面構成および一般図を示す．プレストレスの導入法は，中間支点上に RC 製の主塔を設け，主桁を斜吊りし，プレストレスを導入する形式とし，主塔高さは，標準的なエクストラード橋の主塔とスパンとの比を参考に 10m とし，ケーブルは，一面吊り，一段配置とした．

5.2. 曲げモーメントの改善効果

ケーブル傾斜角によるプレストレスによる曲げモーメントの改善効果および降伏曲げモーメントの改善効果を調べるため，EPASS による弾塑性有限変位解析により検討した．また，比較のため，主桁上フランジに外ケーブルを設置し，直接プレストレスを導入する形式についても検討した．

解析では，負曲げ領域である中間支点付近で床



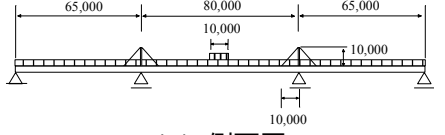
(a) 側面図と断面構成

(b) 断面形状

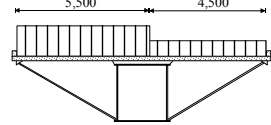
断面番号	t ₀	t ₁	t _w	断面番号	t ₀	t ₁	t _w
①	16	14	16	⑤	34	40	25
②	32	25	16	⑥	66	68	30
③	25	25	16	⑦	38	36	28
④	14	14	19	⑧	19	25	19
				⑨	14	14	16

図-9 断面構成 (単位:mm)

版の剛性を無視し，合成床版の剛性は，底鋼板をコンクリートに換算した断面とした．図-10 には対象とした橋梁の形状と荷重の載荷状態の概略を示す．解析ケースを表 図-10 形状図と載荷状態 (単位:mm)



(a) 側面図



(b) 断面図

表-5 解析ケース

解析ケース	プレストレス形式	ケーブル傾斜角
O-00-00	外ケーブル	0°
H-10-45	斜吊り	45°
H-10-38	斜吊り	38.7°
H-10-33	斜吊り	33.7°

解析より得られた，プレストレス導入時のケーブル軸力，それによる曲げモーメントおよび主桁の中間支点上において，主桁が降伏した時の荷重パラメータ(降伏荷重パラメータ)と降伏時のケーブル軸力を表-6 に示す．

これより，ケーブルプレストレスを利用した曲げモーメントの改善効果については，外ケーブルによるプレストレス導入形式では主桁に導入される軸力が大きいため，降伏荷重に大きな変化は見られない．一方，斜吊り形式では，比較的大きな効果が見られた．

表-6 ケーブル軸力と降伏荷重荷重パラメータ

(床版剛性無視)

解析ケース	プレストレス導入時ケーブル軸力 (kN)	プレストレス導入時曲げモーメント (kN・m)	降伏荷重パラメータ	降伏時ケーブル軸力 (kN)
プレストレス無し		0	2.45	
O-00-00	8,150	7,380	2.39	
H-10-45	1,350	7,410	2.73	4,746
H-10-38	1,312	7,450	2.80	5,357
H-10-33	1,324	7,530	2.92	5,879

5.3. 中間支点上の床版の有効幅を考慮したストラット付鋼単箱桁橋の検討

これまで，中間支点上の床版は，軸および曲げ剛性を無視して検討した．しかし，本形式橋梁では，合成床版を用いるため，底鋼板は，プレストレスおよび外荷重に対して有効な断面と考えられる．そこで，底鋼板の有効断面を調べるため，解析コード ABAQUS を用いて FEM 解析を行った．対象としたのは，中間支点から 10m 離れた点を斜吊りした場合を想定し，図-9 に示す断面のストラット付鋼単箱桁橋の中間支点から左右 10m (断面番号 ~)の部分モデルとした．

境界条件は中間支点位置の主桁下フランジ節点について変位を拘束した．荷重は主桁両端部には，ダイヤフラムを設け，図心位置に水平圧縮力と鉛直上向きに荷重を載荷し，斜吊り形式を再現した．図-11 に解析より得られた応力分布を示す．外荷重に対する有効幅は，道路橋示方書により算出した．その結果，底鋼板の有効幅を 8.24m とした．

次に，底鋼板の有効幅を考慮し，5.1.と同様の解析を

行った。その結果を表-7に示す。表より、床版の底鋼板の剛性を考慮することにより、プレストレスによる降伏荷重の上昇効果も大きくなり、ケーブル軸力を抑えることが可能であり、ケーブルへの負担も減少する。

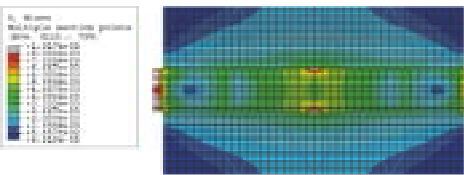


図-11 応力分布図

表-7 ケーブル軸力と降伏荷重荷重パラメータ

(床版剛性考慮)

解析ケース	プレストレス導入時ケーブル軸力 (kN)	プレストレス導入時曲げモーメント (kN・m)	降伏荷重パラメータ	降伏時ケーブル軸力 (kN)
プレストレス無し		0	2.45	
O-00-00B	8,150	7,400	2.42	
H-10-45B	1,350	7,630	2.76	4,496
H-10-38B	1,312	7,730	2.77	4,930
H-10-33B	1,324	7,660	2.95	5,518

6. 構造詳細部に関する検討

ストラット付鋼単箱桁橋は、合成床版に適しており、それを採用することにより、上部工重量の減少、施工性の向上などが期待できる。本形式では、合成床版は経済性、施工性を考慮すると、ロビンソン型合成床版が適している。ただし、雨水の浸入等により、底鋼板の腐食が懸念され場合は、サンドイッチ構造合成床版が望ましい。

橋脚については、張出部を設け、支承間隔を確保した形式および耐震性の高い上下一体形式が考えられる。

斜吊りを行う場合は、1本のケーブルを用い、スパン中央に偏向部を設ける形式が提案されている。主塔については、主塔を主桁に貫通させる形式と主塔を橋脚から張出した形式が考えられる。

ケーブルの定着部については、経済性を考慮して、ピンガセット定着が望ましい。

7. 他形式橋梁との比較

7.1. 鋳桁橋との比較

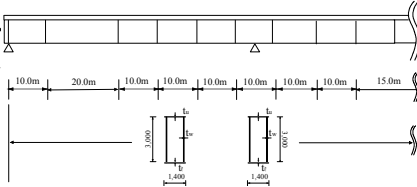
ストラット付鋼単箱桁橋の経済性を検討するため、標準的な鋳桁橋と鋼重、T型溶接延長、および小型材片数の各項目について比較を行った。その結果、ストラット付鋼単箱桁橋は、鋼重については鋳桁形式のものとほぼ等しく、T型溶接延長については2主桁形式と同程度であった。少数材片数については、鋳桁形式に比較して少なくなることがわかり、鋳桁橋と同程度の経済性が期待できる。

7.2. 狭小2主箱桁橋との比較

ストラット付鋼単箱桁橋と狭小2主箱桁橋の、耐荷力を比較した。対象形式は、スパン65+80+65mの3径間モデルである。ストラット付鋼単箱桁橋については、5章で述べたモデルを用いた。狭小2主箱桁橋については、図-12に断面諸元を示す。荷重は道路橋示方書のB活荷重とし、死荷重と活荷重を荷重パラメータを用いて、

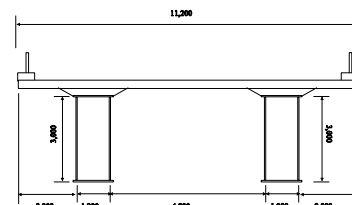
比例漸増载荷した解析より得られた降伏荷重パラメータと鋼重当りの降伏荷重パラメータを表-8に示す。また、斜吊りを行った場合も示した。

これより、鋼重当りの降伏荷重パラメータは、ストラット付鋼単箱桁橋の方が大きくなっている。また、斜吊りによる効果は大きい。



(a) 側面図と断面構成
(b) 断面形状

断面番号	t ₁	t ₂	断面番号	t ₁	t ₂
①	14	14	⑤	32	48
②	16	30	⑥	52	68
③	14	30	⑦	32	48
④	14	19	⑧	14	19
			⑨	14	22



(c) 断面図

図-12 断面構成 (単位:mm)

表-8 降伏荷重パラメータ

橋梁形式	降伏荷重パラメータ	鋼重 (kN)	鋼重当りの降伏荷重パラメータ
狭小2主箱桁橋	3.15	7,190	4.39×10^{-4}
ストラット付鋼単箱桁橋	3.01	6,660	4.53×10^{-4}
H-10-33	3.57	6,660	5.36×10^{-4}

8. まとめ

本研究より得られた結論を以下に述べる。

1. ストラット配置については、平行配置の場合、ねじり剛性の上昇はみられず、シングルワレンおよびダブルワレン配置の場合で、ねじり剛性が上昇した。ストラット本数あたりで見た場合、その効果は同程度であり、施工性を考慮すると、シングルワレン配置が望ましい。
2. ケーブルを利用した曲げモーメントの改善効果については、斜吊り形式の場合に大きな効果が見られた。
3. 中間支点上合成床版の底鋼板を考慮することにより、剛性および耐荷力が上昇し、プレストレスによる降伏荷重の上昇効果も大きくなる。

今後、上下部一体形式の耐震性の検討、架設時安定性の検討等が必要である。

参考文献

- 1) 山口隆司, 北田俊行, 川畑篤敬, 辻野竜介: 新形式橋梁としてのストラット付き鋼単箱桁橋の検討, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集 I-A177, 2000年9月。
- 2) EPASS研究会, 大阪市立大学工学部土木工学科橋梁工学分野, 川崎重工株式会社, 日本電子計算株式会社, JIPエンジニアリング株式会社: EPASSマニュアル, 1991年1月。
- 3) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説II 鋼橋編, 2002年3月