

多摩川橋（仮称）のトラス格点部設計法の検討

河野 明寛¹⁾ 伊藤 哲也²⁾

多摩川橋（仮称）は、公共工事のコスト縮減要求により、省力化として斜材に角形鋼管を使用した4径間連続曲線ダブルデッキトラス橋である。このため、通常のトラス橋と異なり、格点部が4面添接で構成されている。また、景観上の配慮からシンプルなガセットとするために、格点部をフィレットで深く切り込んだ形状となっている。

本文は、この格点部の設計方法およびその妥当性について、FEM解析による検討結果を報告するものである。

キーワード：トラス，格点剛結，ガセット，フィレット，FEM解析

まえがき

首都圏中央連絡自動車道多摩川橋（鋼上部工）工事は、日本道路公団八王子工事事務所が建設を進めている首都圏中央連絡自動車道（以下、「圏央道」と示す）の一部として、石川島播磨重工業株式会社・駒井鉄工株式会社共同企業体で受注したものである。

圏央道は、首都の中心部からおおよそ半径40～60km圏を環状に結ぶ総延長約300kmの自動車専用道路である。また、東名、中央、関越、東北、常磐、東関東自動車道など放射方向の幹線道路と接続し、都心に集中する交通を適切に分散させるものである。それとともに、横浜、厚木、八王子、川越、筑波、成田、木更津などの首都圏の周辺に位置する都市相互の連絡強化を図るものであり、その整備が急がれている。

多摩川橋は圏央道の一部として、東京都青梅市と羽村市の境を流れる一級河川多摩川に架かる。そして、路面線形が曲率半径R=1000mのゆるやかなカーブを描き、高速道路の上り線と下り線が桁の上層と下層に配置された4径間連続曲線ダブルデッキトラス橋である。本橋の位置図を図-1に、構造一般図を図-2に示す。

本橋は、曲線トラスの影響を考慮するため、立体骨組解析により断面力を算出した。また、景観性の配慮と経済性により、斜材に冷間曲げ加工による大断面角形鋼管（以下、「コラム材」と示す）を採用しており、現場継手が4面添接となるため、立体骨組解析は格点部を剛結構造として行った。

支承は、経済性を考慮して、高減衰ゴムを使用した免震沓を採用し、地震時上部工慣性力を低減させた。

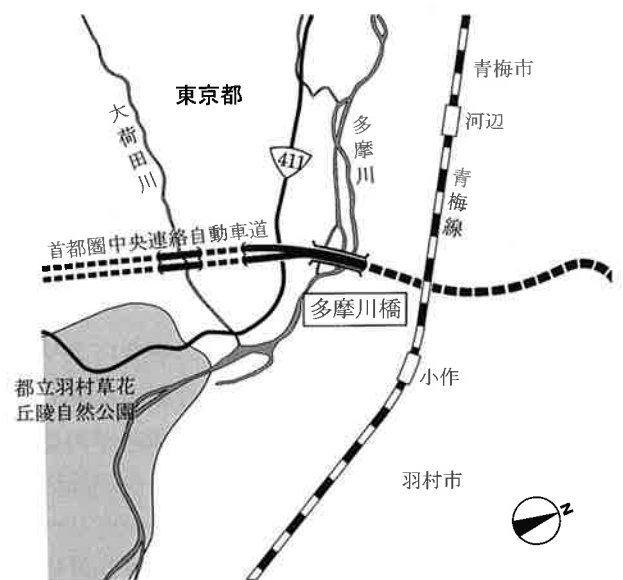


図-1 位置図

1) 橋梁設計部東京設計一課 2) 橋梁設計部東京設計二課

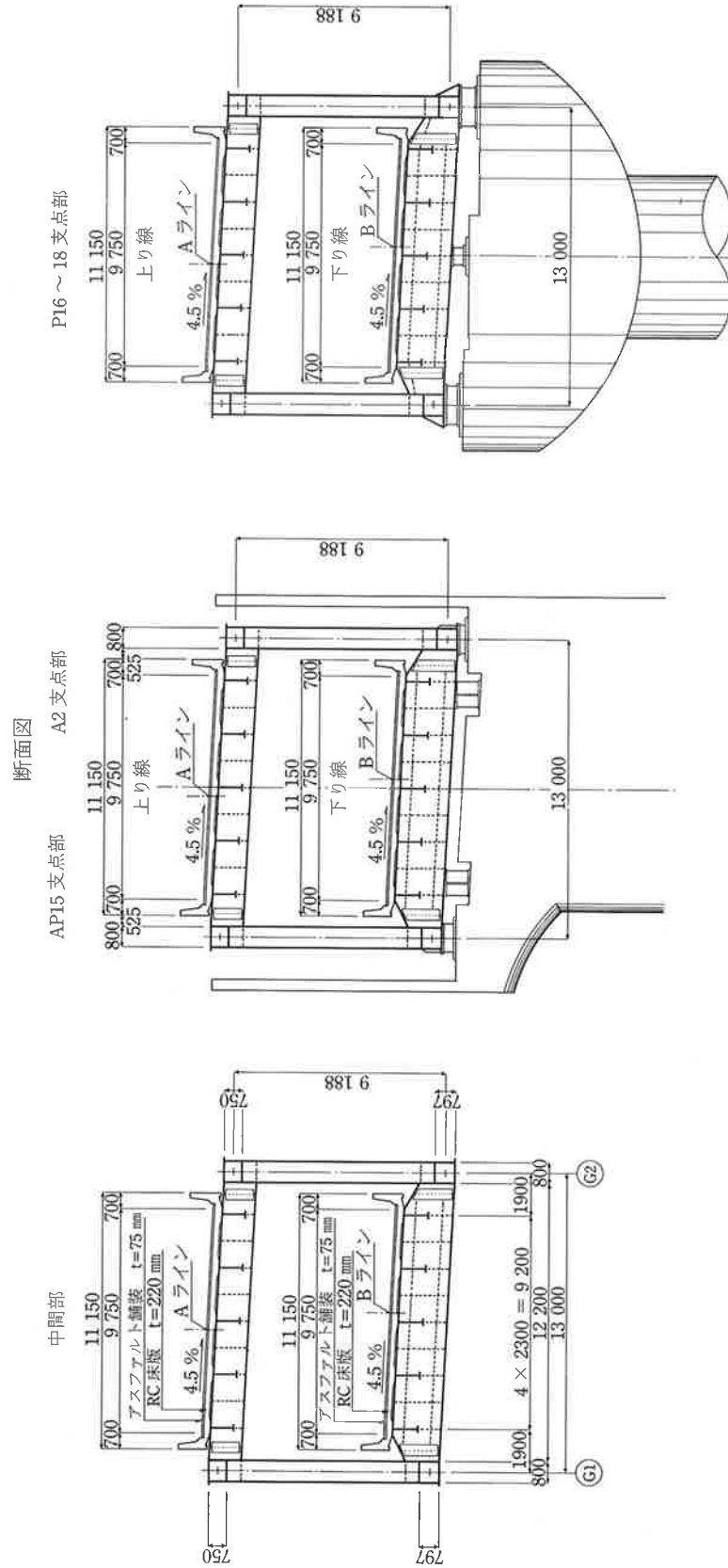
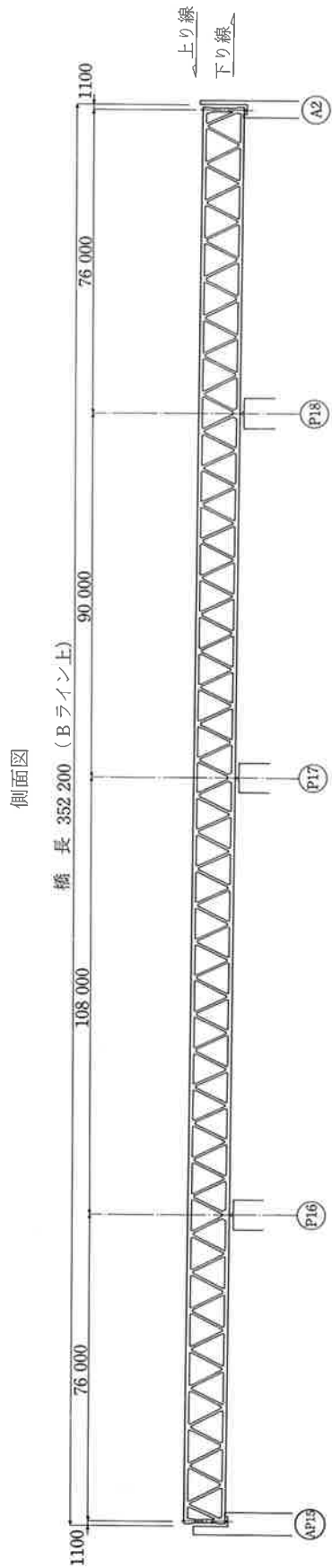


図-2 構造一般図

本橋の設計に際し、本橋の特徴である剛構造のトラス格点部について、ガセットプレートの設計方法とその妥当性を確認するために、FEM解析による検討を行った。ここではその検討結果について報告する。

1. 工事概要

本橋の設計条件を以下に示す。

- 橋梁形式：鋼4径間連続曲線ダブルデッキトラス
- 道路規格：第1種3級
- 設計荷重：B活荷重
- 橋長：352.200m
- 支間長：76.000+108.000+90.000+76.000m
- 有効幅員：9.750m（上下層共）
- 平面線形：曲率半径 R=1000.0m
- 縦断勾配：0.94%
- 横断勾配：4.5%
- 舗装：アスファルト舗装 厚さ 75 mm
- 床版：鉄筋コンクリート床版 厚さ 220 mm
- 主要鋼材：SM570, SM490Y, SM400

2. 本橋のトラス格点構造の特徴

本橋のトラス格点構造の特徴は以下のとおりである。

- ①主構トラス斜材が、コラム材を使用しているため箱断面部材であり、その腹板だけでなくフランジも弦材に結合される。
- ②景観上の配慮から、ガセットを深く切り欠いている。
- ③部材力は、軸力の他に曲げモーメントも考慮する。

格点部の構造を図-3に示す。

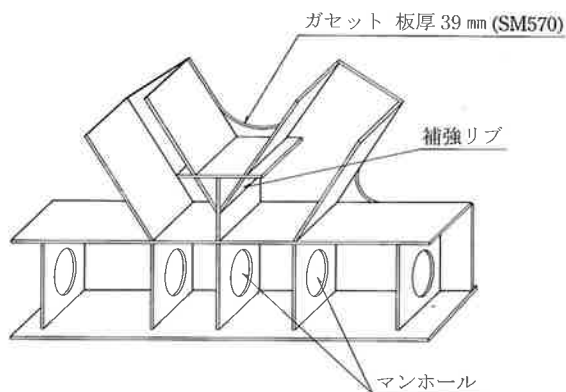


図-3 格点部の構造

3. トラス格点部の設計

(1) 設計方針

道路橋示方書（以下、「道示」と示す）¹⁾において、トラス格点のガセットの板厚 t は下記の式により算出した値を標準とすると規定されている。

$$t = 20 \times P/b \geq 9$$

ここに、

t : ガセットの板厚 (mm)

P : 腹材に作用する最大部材力 (tf)

b : 腹材のガセット面に接する部分の幅 (mm)

しかし、この算出法は次の理由により、本橋のトラス格点構造への適用性が明らかでない。

- ①算出式は経験式である。
- ②局部座屈を考慮していない。
- ③弦材腹板への連絡のみを考えている。

そこで、ガセットの局部座屈とファイレット底での応力集中防止を考慮し、本州四国連絡橋公団（以下、「本四公団」と示す）他で採用されている既往の規定を満足する格点構造とするため、次の検討・確認を行い、構造諸元を決定することとした。

- ①既往の規定（算定式）による板厚の検討
- ②FEM解析による詳細応力計算による確認

(2) 各種規定および既往の研究

ガセット板厚の算定法に関して各種基準の規定を表-1に示す。本四公団のトラス格点構造設計指針（案）²⁾では、斜材は軸力の他に曲げモーメントも考慮されており、また局部座屈の検討も含まれている。局部座屈の照査は鋼道路橋設計便覧³⁾やAASHTO⁴⁾にも記述されている。

ガセット付きトラス格点の詳細検討は、荷重伝達に関するもの、曲線トラス橋の立体解析と格点剛結による2次応力の検討などがある。

(3) 各種規定によるガセット板厚の算定

表-1の各種基準のガセット板厚算定式により算出したガセット板厚を表-2に示す。

本橋のトラス部材には軸力だけでなく、面内および面外曲げモーメントが作用する。したがって、ガセット板厚は軸力、面内曲げおよび面外曲げをパラメータに加えて算定する必要がある。表-2に示すとおり軸力、面内曲げおよび面外曲げを考慮した算定式は、首都高速道路公団（以下、「首都

公団」と示す) および日本鉄道建設公団 (以下、「鉄建公団」と示す) で提案されている2式がある。首都公団で用いられた算定式は道示の式を踏

表-1 各種基準のガセット板厚の算定式

基準	ガセット板厚の算定式
道路橋示方書	$t=20 \times \frac{P}{b}$ t : ガセットの板厚(mm) P : 斜材の軸力(tf) b : 斜材のガセットに接する幅(mm)
本州四国連絡橋公団 「トラス格点構造設計指針(案)」 注)	$t = \frac{P \times 10^3}{b_c \times \sigma_s} \left(\frac{1}{2} + \frac{L_w}{A_w} \times \frac{1}{b^2 + d^2} \right)$ t : ガセットの板厚(cm) P : 斜材の軸力(tf) b _c : ガセットの有効幅 b _c =b+0.8d (cm) b : ボルト群の幅(cm) d : ボルト群の長さ(cm) L _w : 斜材の断面二次モーメント(cm ⁴) A _w : 斜材の断面積(cm ²) σ _s : ガセットの許容引張応力度(kgf/cm ²)
国鉄建造物設計標準 ⁵⁾	$t=22 \times \frac{P}{b}$ t : ガセットの板厚(mm) P : 斜材の軸力(tf) b : 斜材のガセットに接する幅(mm)
首都高速道路公団の実施例	$t=20 \times \frac{P_1+P_2+P_3}{b}$ t : ガセットの板厚(mm) P ₁ : 斜材の軸力(tf) P ₂ : 斜材の面内曲げモーメントの換算軸力 P ₃ : 斜材の面外曲げモーメントの換算軸力 b : 斜材のガセットに接する幅(mm)
日本鉄道建設公団の実施例	$t = \frac{1}{1.5\sigma_s \times B} \left(\frac{N}{2} + \frac{M_z}{H_w} \times \frac{2 \times M_y}{B} \right)$ t : ガセットの板厚(cm) B : 斜材のフランジ幅(cm) H _w : 斜材の腹板高さ(cm) N : 斜材の軸力(kgf) M _z : 斜材の面外曲げモーメント(kgf・cm) M _y : 斜材の面内曲げモーメント(kgf・cm) σ _s : ガセットの許容引張応力度(kgf/cm ²)

注) 本州四国連絡橋公団基準では別途合成応力の照査を規定している。

表-2 ガセット板厚の比較

基準	パラメータの有無		式の妥当性確認	本橋の計算例	
	軸力	曲げ 面内 面外		一般部 (mm)	支点部 (mm)
道示	○	× ×	経験式	8	35
本四公団	○	○ ×	実験・FEM	21	60
国鉄標準	○	× ×	道示に準拠	8	38
首都公団	○	○ ○	道示に準拠	8	35
鉄建公団	○	○ ○	FEM	21	40

国鉄標準：国鉄建造物設計標準

襲したものであり、その式が経験式であることから、本橋では鉄建公団で提案されている式を適用することとした。この式では、斜材により作用する全応力(軸力、面内曲げ、面外曲げ)が最終的にはガセットに移行するものと見なしている。

4. FEM解析による妥当性の確認

(1) 概要

本橋のトラス格点部では、箱断面の斜材の4面からガセットおよびダイヤフラムを介して応力を伝達する構造を採用している。しかし、製作上すなわち溶接の可否により、斜材フランジからダイヤフラムに直接応力が伝達されるようにすることは困難であり、鉄建公団の提案式をそのまま適用するには不安が残る。そのため、FEM解析により当該部の応力を計算し、提案式適用の妥当性を確認した。

(2) FEM解析の概要

ガセットおよびダイヤフラムの板厚を算定する式は鉄建公団の式を用いて、格点部構造が成立するような構造諸元(板厚)を定める。次に格点部の部分モデル(3次元モデル)に、立体骨組解析で得られた断面力を載荷した場合の応力を計算する。

(3) 計算モデルおよび計算方法

計算モデルは、格点の箇所により寸法が異なるので、次の3つのモデルを対象とする。

- ① 中間部下弦材 (横桁:I断面, 斜材:650×650)
- ② 中間部下弦材 (横桁:I断面, 斜材:650×700)
- ③ 支点部下弦材 (横桁:箱断面, 斜材:700×700)

FEM解析のモデル化については、以下の要領で行った。

- ・弦材は格点両側の最も近い位置にあるダイヤフラムまで、斜材は継手の位置までをモデル化する。
- ・3次元モデルとする。
- ・板の面外曲げも考慮できるシェル要素を用いる。
- ・フィレット部の応力集中も精度良く計算できるように細分割する。
- ・線形弾性計算とする。
- ・弦材および斜材の端部は断面を剛にし、格点

部の断面力を負荷する。これらの負荷断面力を表-3に示す。

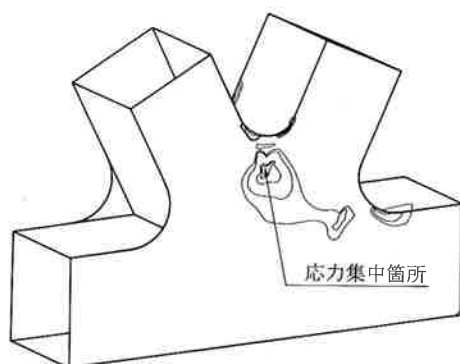
表-3 負荷断面力

部材	軸力 (tf)	曲げ (tf・m)		せん断力 (tf)		ねじり (tf・m)	
		面内	面外	面内	面外		
①モデル	弦材	669.216	26.796	5.548	0.957	-0.809	1.727
	弦材	587.067	37.317	-13.506	-4.146	-2.928	-4.573
	斜材	-40.557	7.318	-72.207	0.431	15.268	0.521
	斜材	176.766	-3.205	-64.498	1.581	-12.250	0.010
	横桁	-27.163	-127.029	16.114	127.726	10.595	0.000
②モデル	弦材	-631.745	-59.264	29.078	-11.826	-6.873	-1.265
	弦材	-1544.417	95.808	-8.493	-38.156	-1.067	-10.142
	斜材	-1040.280	86.103	-63.018	17.574	14.363	2.417
	斜材	1114.873	-68.969	-40.909	10.051	-8.576	2.326
	横桁	71.948	-101.705	32.133	96.551	22.610	0.000
③モデル	弦材	-1441.457	-244.662	25.541	-38.163	-6.921	-9.798
	弦材	-1471.936	-239.459	-32.964	36.171	-7.344	7.830
	斜材	-1010.745	-30.886	-12.241	2.645	-5.123	6.061
	斜材	-1240.103	-24.566	-14.379	-0.728	6.865	-2.948
	横桁	3.084	-2.389	61.704	45.583	40.020	2.747

5. 結果およびまとめ

②モデルのコンター図を図-4に示す。この図では2,000～3,000kgf/cm²の応力範囲を示す。

フィレット部と横桁付け根部に応力集中が見られる。応力度は最大でも②モデルのケースで3,000kgf/cm²程度であり、鋼種 SM570 材の許容値



(a) 主構トラス外側面



(b) 主構トラス内側面

注) 2000～3000kgf/cm²の応力範囲を示す。

図-4 ②モデルのコンター図

(1.2 × 2,600 = 3,120kgf/cm²)²⁾ 以下であった。本橋では、鉄建公団の算定式を採用してガセット板厚の設計を行ったが、この結果よりその妥当性が確認されたと考える。

トラス格点部が本橋のような特殊な構造となっている場合、ガセット板厚の設計に対して道示の規定をそのまま適用すると危険側の設計となる場合があり、今後も注意する必要がある。

あとがき

本文では、多摩川橋のトラス格点部構造の設計について述べた。過去の実績では、トラス橋の弦材と斜材が箱断面形式で連結する構造例はあまりない。また、現行の道示では、ガセット板厚の設計は軸力の評価しか行っていない。今後、本橋と同じようなトラス構造に対し、本報告が参考になれば幸いである。

最後に、本工事の設計に際してご指導、ご協力をいただいた日本道路公団の方々をはじめ、関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1996.12.
- 2) 本州四国連絡橋公団：トラス格点構造設計指針（案），1976.
- 3) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧，1979.2.
- 4) AASHTO：DIVISION I DESIGN, SECTION 10- STRUCTURAL STEEL, PART B- DESIGN DETAILS, 1983.
- 5) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説，1983.5.