

## 断続合成形式の長支間連続合成桁への適用性について

レールウェイエンジニアリング 正会員 保坂 鐵矢  
川田工業 正会員 辻角 学

〇パシフィックコンサルタンツ 正会員 武居 秀訓※<sup>1</sup>  
東京鐵骨橋梁 フェロー 稲葉 紀昭

### 1. まえがき

連続合成桁の設計に関する今昔の論点は、中間支点部の床版コンクリートを含む主桁をどのように設計するかということである。かつては中間支点のジャッキアップ・ダウンにより床版にプレストレスを導入し、ひび割れさせない設計法が採用されていたが、現在では、プレストレスの導入工法の採用は少なく、有害なひび割れ幅以下のひび割れを許容する設計法（以後、ひび割れ制御設計と称する）へと変化してきている傾向がみられる。通常、ひび割れ幅を制限するには、床版内の鉄筋量を増加させればよいが、長支間の連続合成桁では床版のひび割れ制御が通常の配筋のみでは困難となるなどの問題が考えられる。

そこで、著者らは過去に鉄道橋で採用した断続合成桁<sup>1), 2)</sup>に着目した。断続合成桁は、中間支点部の負曲げモーメント域の全区間または一部区間に床版と鋼桁のズレを許容するコネクター（以後、柔ジベル<sup>1)</sup>と称する）を設置して非合成とし、正曲げモーメント域には剛ジベル（一般に馬蹄形ジベル）を配置して完全合成とした連続合成桁<sup>1) ~ 5)</sup>である。これは断続区間を設けることで、その区間のコンクリート床版の最大引張応力を効果的に低減しようとするものである。本稿では、経済性と耐久性を有する長支間連続合成桁の提案を目的に、完全合成桁と断続合成桁の試設計を行い、比較検討した結果を報告するものである。

### 2. 断続合成区間の床版軸力

断続区間  $e$  の軸力は、接触面におけるコンクリート下面と鋼桁上縁の長さ変化が断続区間の始終点で等しく、コンクリート床版と鋼桁の曲率が区間  $e$  において一致しなければならないことから、次式より与えられる<sup>4)</sup>。

$$N = \frac{d_s \cdot A_s}{I_v} \cdot \frac{1}{e} \int_0^e M dx = \frac{d_s \cdot A_s}{I_v} \cdot M_{em} \quad \text{式(1)}$$

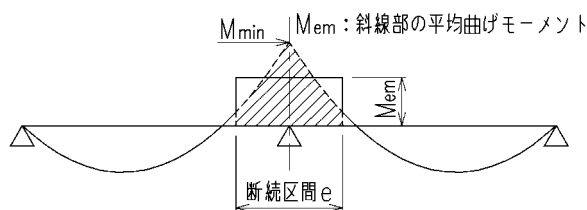


図-1 軸力算定時の外モーメント

ここで、 $e$  は断続区間長、 $M_{em}$  は区間  $e$  における外モーメントの平均値（図-1）、 $A_s$  は鋼桁の断面積、 $I_v$  は合成断面の断面 2 次モーメント、 $d_s$  は合成断面の中立軸から鋼桁の中立軸までの距離を示す。

### 3. 試設計の内容

数値解析モデルとして、図-3(a)と(b)に示すような2種類の2径間連続合成桁（スパン割：100m+100m）を対象に断面力を算出し、それぞれの桁形式に対して終局限界状態の照査と耐久性に対するひび割れ幅の照査を行った。想定した断面は図-2 のようである。考慮した荷重は、合成前死荷重、合成後死荷重、列車荷重(M-15)および衝撃とし、乾燥収縮やクリープ等の不静定断面力は考慮していない。中間支点部の抵抗断面としては、完全合成桁は鉄筋と鋼桁の合成断面とし、断続合成桁は式(1)で軸力を算出した後、図-4に示すような分担曲げモーメントを計算し、鉄筋と鋼桁の作用応力度を算出した。また、断続合成桁の作用断面力は、完全合成桁として算出すべきとの報告<sup>6)</sup>もあるため、図-3(a)の断面力を使用して断続合成桁としての断面算定も行った。

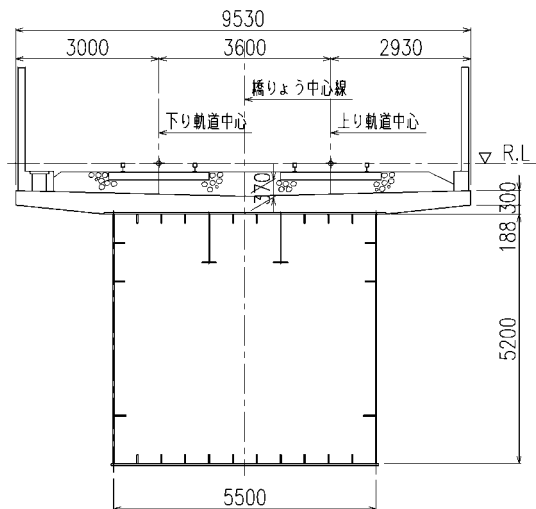


図-2 中間支点部断面

キーワード：鉄道橋、長支間連続合成桁、ひび割れ制御、完全合成桁、断続合成桁

※1 〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1

TEL 03-3344-0744

FAX 03-3344-0806

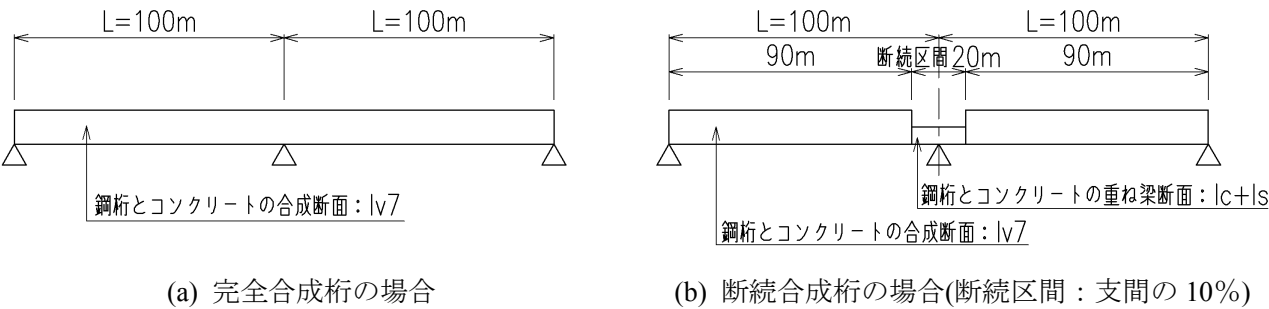


図-3 合成後荷重の断面力算出モデル

4. 試設計の結果と考察

断続区間の長さは試計算により適切に設定する必要があり、本試設計では支間の 10%<sup>3)</sup> とした。すると表-1 のように、中間支点部の曲げ剛性が小さくなるため、合成後の作用曲げモーメントは完全合成桁に比べ 11%程減少する。図-3(b)のモデル化が妥当であれば、この点からも中間支点部の設計をする際には断続合成桁に有利性があると言える。

断面算定では、床版厚が 300mm のため、橋軸方向鉄筋は D22 の 100mm ピッチを 2 段で配筋（鉄筋比  $\rho=2.58\%$ 、周長率 0.046）した。表-1 から完全合成桁は終局限界状態の照査に対して、上フランジの安全率が 0.659 となり SM570 材の制限値に対して 3 割以上の応力が余っている。これは床版のひび割れ幅を制限値以下に抑えるため、上フランジを 63mm まで増厚した結果である。それに比べ、断続合成桁は、上フランジと下フランジの安全度がそれぞれ 0.997 と 0.984 となり、鋼桁の最適設計ができると同時に、非常にデリケートなコンクリート床版のひび割れ幅を小さく制御できる。鋼桁断面積も完全合成桁に比べ約 20%減少し、経済性の面からも断続合成桁の適用性を説明できる。また、図-3(a)の断面力を使用して断続合成桁の断面算定を行うと、表-1 右列のように、上フランジを極端に厚くしなくても、ひび割れ幅の制限値を満足し、併せて鋼桁断面積も完全合成桁に比べ 14%低減できる。

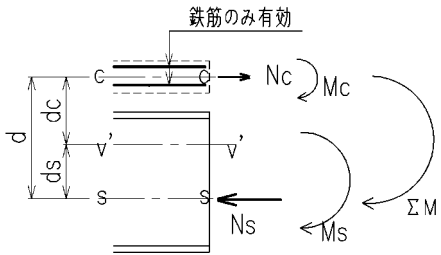


図-4 分担断面力

5. まとめ

表-1 完全合成桁と断続合成桁の中間支点部の照査結果

ひび割れ制御設計をする長支間連続合成桁の桁形式として、断続合成桁の合理性が判明した。実橋への適用上の課題は、①床版と鋼桁の摩擦や付着力に対する断続合成としてのメカニズムの評価、②合成区間と断続区間の境界部剛ジベルへの水平せん断力の集中、③断続区間の柔ジベルの設計方法、④上記問題点を包含する設計方法の確立等があり、これらを解決していく必要がある。今後も、これらの課題に取り組み、長支間連続合成桁を経済的かつ合理的な構造物とするよう更なる研究を行いたい。

|                          |        | 完全合成桁           |       | 断続合成桁           |       |                 |       |
|--------------------------|--------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
|                          |        |                 |       | 図-3(b)の断面力      |       | 図-3(a)の断面力      |       |
| 設計曲げモーメント (kN・m)         | 合成前死荷重 | -212500         |       | -212500         |       | -212500         |       |
|                          | 合成後死荷重 | -140000         |       | -123997         |       | -140000         |       |
|                          | 列車荷重   | -82892          |       | -73492          |       | -82892          |       |
|                          | 衝撃     | -10840          |       | -9611           |       | -10840          |       |
| 概略断面                     | 上フランジ  | 5036 × 63       |       | 5036 × 29       |       | 5036 × 37       |       |
|                          | 腹板     | 5200 × 25       |       | 5200 × 25       |       | 5200 × 25       |       |
|                          | 下フランジ  | 4836 × 36       |       | 4836 × 36       |       | 4836 × 39       |       |
| 概略断面積                    |        | 9338.40 (1.000) |       | 7366.40 (0.789) |       | 7998.40 (0.857) |       |
| 終局限界状態の照査                |        | 応力度             | 安全度   | 応力度             | 安全度   | 応力度             | 安全度   |
| 応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 上側鉄筋   | 114.8           | 0.413 | 111.8           | 0.402 | 115.9           | 0.417 |
|                          | 下側鉄筋   | 106.7           | 0.384 | 102.6           | 0.369 | 106.5           | 0.383 |
|                          | 上フランジ  | 209.3           | 0.659 | 316.5           | 0.997 | 291.9           | 0.920 |
|                          | 下フランジ  | -324.5          | 0.978 | -326.5          | 0.984 | -323.6          | 0.975 |
| ひび割れ幅の照査 (mm)            |        | 0.197 < 0.2     |       | 0.193 < 0.2     |       | 0.198 < 0.2     |       |

「参考文献」 1)Hidehiko ABE、Tetsuya HOSAKA：Flexible Shear Connectors for Railway Composite Girder Bridges、COMPOSITE CONSTRUCTION IN STEEL AND CONCRETE IV、pp.71-80、United Engineering Foundation .Inc、(2000.5.28) 2)保坂鐵矢、杉本一朗：鉄道における最近の鋼・コンクリート複合橋梁、橋梁と基礎、pp.31-40 (2000.7) 3)稲葉紀昭、井口光雄：鉄道用断続合成桁の設計法の提案、構造工学論文集 Vol41A (1995.3) 4)Hawranek/Steinhardt (橋善雄、小松定夫共訳)：鋼橋の理論と計算、山海堂 (1965.1) 5)日本鋼構造協会 鋼橋の性能照査型設計対応研究委員会：鋼橋の要求性能と安全性評価技術 (2002.9) 6)辻角学、保坂鐵矢、武居秀訓、依田照彦：断続合成構造の床版分担断面力に関する検討、第 59 回土木学会年次学術講演会、(2004.9 講演予定)