

連続合成桁の中間支点部におけるひび割れ挙動に関する解析的研究

早稲田大学 学生員 酒井 貴司 鉄道総合技術研究所 正会員 谷口 望
 東京鐵骨橋梁 フェロー 入部 孝夫 東京鐵骨橋梁 正会員 碓山 晴久
 早稲田大学 学生員 神谷 崇 早稲田大学 フェロー 依田 照彦

1. はじめに

連続合成桁は経済性や合理性に優れている点から、今や橋梁の一つの主要形式となっている。連続合成桁には、負曲げを受ける中間支点部が存在するため、設計計算においてひび割れを考える必要がある。そこで、本研究では、負曲げが生じる連続合成桁の中間支点部をモデル化した載荷実験結果と、構造解析システム DIANA を用いて行った解析結果とを比較・検討することにより、合成桁のひび割れ挙動を把握することを目的としている。

2. 実験概要

供試体は図 2.1, 図 2.2 に示すようにスパン 4m, 床版幅 0.8m で、実橋における中間支点部を意識し、鋼桁の中央部を載荷点とした 3 点曲げの試験体である。ジベル詳細を図 2.3 に示す。鉄筋比は 2%, コンクリートは普通コンクリートを使用し、呼び強度は 27N/mm² とした。

載荷方法は、荷重が 180kN, 380kN, 680kN, 1300kN に到達した時点で一旦 0kN まで除荷をし、その後鋼桁の上下フランジとウェブに降伏が確認されるまで載荷を行った。

3. 解析概要

表 3.1, 表 3.2, 表 3.3 で各種材料データを、図 3.1 に解析モデル図を示す。また解析条件は以下に示す通りである。なお、各種材料データ、材料曲線は今回の材料実験の結果に即したものになっている。コンクリートのひび割れ後の引張軟化曲線に関しては、Hordijk・Cornelissen・Reinhardt らが提案した式を導入した。

解析ソフト：DIANA

解析方法：静的非弾性解析

要素：4 節点 SHELL 要素(鋼材部分)
 8 節点 SOLID 要素(コンクリート床版部分)

メッシュ間隔：10cm

要素数：4370

荷重：供試体中央点(端部から 2.3m)を中心に 0.4 × 0.4m² (載荷版)の分布荷重

拘束条件：両端からそれぞれ 0.3m の場所を LINE (線) で y (奥行き方向), z (鉛直方向) 拘束。x 方向(軸方向)の拘束は片端のみ。また、載荷版、支承版は剛体とした。

収束計算方法：修正 Newton-Raphson 法、収束基準にはエネルギー比を用いた。

表 3.1 鋼材の材料データ

板厚 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
12	352.4	2.06E+05	0.30
16	386.1	2.06E+05	0.30
22	424.1	2.06E+05	0.30
25	393.1	2.06E+05	0.30

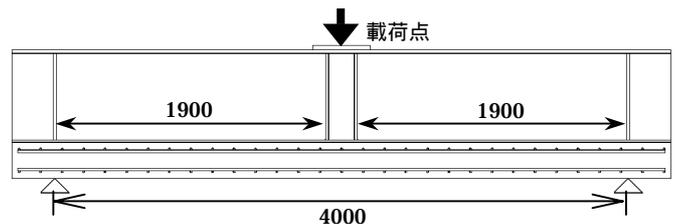


図 2.1 供試体図 (単位: mm)

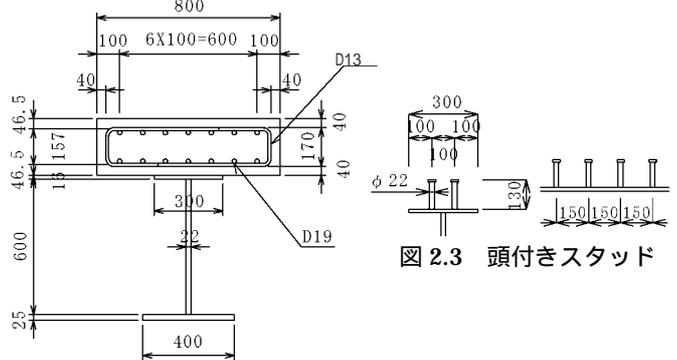


図 2.2 供試体断面

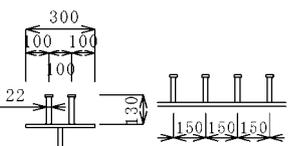


図 2.3 頭付きスタッド

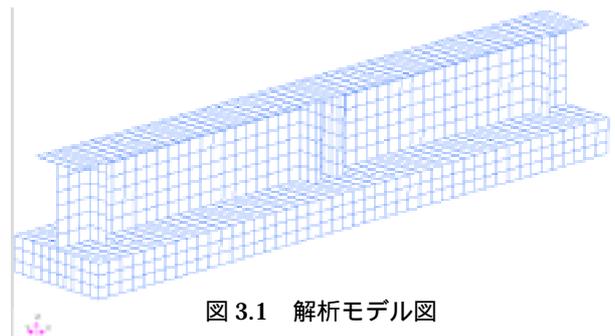


図 3.1 解析モデル図

表 3.2 鉄筋の材料データ

直径(mm)	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
19	387.0	1.85E+05
13	360.0	1.85E+05

表 3.3 コンクリートの材料データ

圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	破壊エネルギー ⁽¹⁾ (N/mm)
33.8	2.41	2.70E+04	0.15	8.78E+04

キーワード 連続合成桁, 負曲げ, DIANA

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学部依田研究室 TEL 03-5286-3399

4. 荷重-変位曲線

中央点における荷重 - 変位曲線について、荷重 1000 kN までのものを図 4.1 に、終局時までのものを図 4.2 に示す。図 4.1, 図 4.2 より、解析値は荷重載荷 1000 kN 付近までは実験値とかなり良い整合性を見せ、その後徐々に実験値を上回るようになった。しかし、終局状態に近づくに従い両者の値は再び近づき、最終的にはほぼ同様な値をとることとなった。

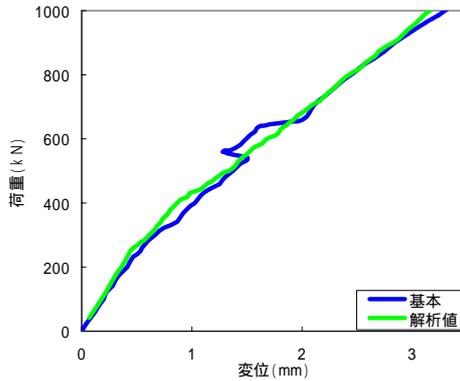


図 4.1 荷重-変位曲線(荷重載荷初期)

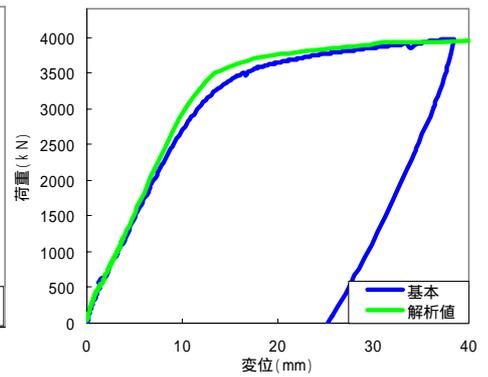


図 4.2 荷重-変位曲線(終局時)

5. 初期ひび割れ発生荷重

表 5.1 に、実験においてひび割れが確認された荷重域、解析において発生した荷重値、手計算による理論値を示す。初期ひび割れ発生荷重、安定ひび割れ発生荷重ともに解析値が実験値を上回る結果となった。

表 5.1 ひび割れ発生荷重 (単位: kN)

種類	初期ひび割れ発生荷重	安定ひび割れ開始荷重
基本	160 ~ 180	約 550
理論値	273	約 490
解析値	245 ~ 246	約 800

6. 鉄筋の荷重-ひずみ曲線

図 6.1 ~ 図 6.2 に鉄筋の荷重-ひずみ曲線の解析値、理論値、実験値の比較を示す。今回の比較は、ひずみの最大値が確認された場所で行った。それゆえ、解析値と実験値の測定位置は若干異なっている。また理論値に関しては、

s_2 は最大ひずみ、 s_m は平均ひずみを表し、鋼桁 + 鉄筋は s_m からコンクリートの応力負担分を差し引いたときの値である。理論値の計算条件は、分担断面力法により鋼桁と RC 床版を分割し、RC 床版部にテンションステイフィング効果を考慮した手法を適用し²⁾、乾燥収縮は普通コンクリートの場合 150μ とした。

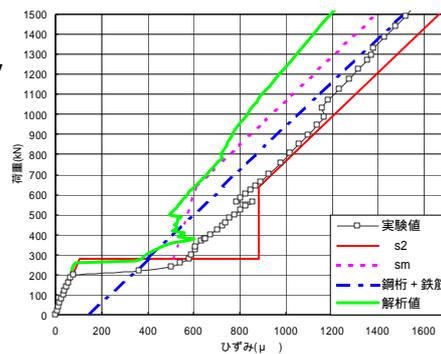


図 6.1 コンクリート表面側鉄筋

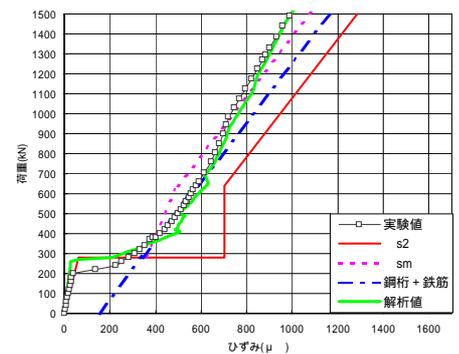


図 6.2 鋼フランジ接触面側鉄筋

初期ひび割れ発生荷重値の差からひずみがジャンプする荷重はやや異なっている。また、解析値はメッシュ間隔の平均のひずみなので、理論値の平均ひずみ s_m に漸近していることがわかる。図 6.1 では、実験値が最大ひずみを取ることであり、理論値の最大ひずみ s_2 に近づいたが、図 6.2 では実験値が平均ひずみ程度の値をとっており、解析値とほぼ一致する結果となった。また、弾性域、安定ひび割れ開始後の傾き等に関しては、解析値と実験値は類似していることが分かる。

7. まとめ

- ・ D I A N A を用いた解析では、概ね実挙動の平均的な挙動を説明できる結果が得られたが、コンクリート表面側鉄筋については、解析方法に工夫を加える必要がある。
- ・ ひび割れ発生荷重については、実験値との相違がみられ、コンクリートの乾燥収縮等の影響を考慮する必要がある。
- ・ 今後は、鋼とコンクリートの接触面のジベルや P B L の差や、繰り返し載荷試験にも着目して解析を行う必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書（構造的照査編）pp.27-28，2002
- 2) 長井正嗣，奥井義昭，岩崎英治：連続合成桁の各種ひび割れ幅算定法とその相違に関する一考察，土木学会論文集 No.710/-60，pp.427-437，2002.7