

(6) 鉄道橋用断続合成桁の簡易的な設計方法について

ON A SIMPLE DESIGN METHOD OF PARTIAL COMPOSITE CONTINUOUS RAILWAY GIRDERS

稲葉紀昭* 宮崎竜聖** 井口光雄*** 武居秀訓****

By Noriaki INABA, Ryusei MIYAZAKI, Mituo IGUTI and Hidetoshi TAKEI

We have proposed a simple design method of partial composite continuous railway girders by experiments and FEM analysis. However, there are some unsolved problems. Therefore, we have progressed study and analysis, related with phenomenon of shearing force concentrate at the shear connector on the boundary, and so on. We report the supplementary proposal about a simple design method.

1. まえがき

合成桁の連続構造化は鉄道橋にとって、シュール個数の減少、耐震性の向上、伸縮目地の削減による維持管理の軽減、および景観の向上等多くの利点を有するが、中間支点部に生ずる大きな負の曲げモーメントによって、コンクリート床版に引張力が作用し有害なクラックの発生する恐れがある。この問題に対処するため、これまで支点の上昇・下降工法等を採用して対処してきた¹⁾。しかし、設計上複雑な計算と高度な施工技術を要求され、工期が長くなるため、一般的なものとはなっていない。

そのために著者らは、中間支点部に生ずる大きな負の曲げモーメントを緩和するために、その部分に阿部氏が提案²⁾した柔ジベルを用いて非合成区間とした断続合成桁に着目し、各種の静的載荷試験、疲労試験およびFEM解析を行い、その有効性を確認するとともに骨組解析に基づく簡易な設計法について提案³⁾した。

本報告は、上記の提案において、さらに深度化を図るため、次の3項目について解析的に検討を加えたものである。

- ① 合成区間・非合成区間の境界部近傍のずれ止めに着目して、そのばね定数を漸減させた場合の水平せん断力の緩和の程度および床版と鋼桁のずれ量に及ぼす影響
- ② 中間支点上の柔ジベルに発生する軸引張力（揚力）
- ③ ずれ止めおよびコンクリート床版を設計する際に考慮すべき温度差および乾燥収縮による影響

2. 解析方法

先の報告では、合成・非合成境界部における水平せん断力の集中現象に対処するため、水平せん断耐力の大きい剛ジベルを配置することとした。この方法では、非合成区間長を適切に設定しても、さらに支間長が増大したり、荷重条件がより厳しくなった場合には、より大きな集中水平せん断力に対して過大なジベルが必要となる可能性がある。そこで、このような問題を解消するために、緩衝区間（境界部の合成区間にある剛ジベルをスタッドジベルとし、ばね定数を漸減させる区間）を設け、その効果についてFEM解析により検討を行った。

* 日本鉄道建設公団 設計技術室
*** 日本交通技術(株) 技術部

** 日本鉄道建設公団 設計技術室
**** パシフィックコンサルタンツ(株) 鉄道部

解析モデルは、実橋を想定した支間約40mの2径間連続断続合成桁を対象として、コンクリート床版と鋼桁上フランジおよび下フランジを梁要素、腹板を平面応力要素で置き換えた2次元モデルとした。また、この解析で使用するずれ止め1個（本）の水平方向のばね定数を、過去の研究結果⁴⁾から以下のように仮定し、鉛直方向には剛なバネとして各ジベルともに1個（本）当たり 10^5 tf/m 程度とした。

馬蹄型ジベル $3.0 \times 10^5 \text{ tf/m}$ （1個当たり）
 スタッドジベル（ $\phi 19\text{mm}$ ） $7.5 \times 10^3 \text{ tf/m}$ （1本当たり）
 柔ジベル（H-150） $2.0 \times 10^2 \text{ tf/m}$ （1個当たり）

図1は実橋を想定して定めた表1に示すスタッドジベルの配置、本数、ピッチ等をもとに、水平方向のばね定数を変化させたもので、先に提案した緩衝区間のないケースを含め3ケースを設定した。荷重は 1.0 tf/m の等分布荷重とし、2径間に全載荷する場合と1径間のみに半載荷する場合の2種類とした。なお、各ケースのモデル名の意味は次のとおりである。

N21モデル 非合成区間が支間の21%で緩衝区間のないもの
 N21B6-1モデル 非合成区間が支間の21%で緩衝区間が支間の6%で換算ばね定数の設定1
 N21B6-2モデル 非合成区間が支間の21%で緩衝区間が支間の6%で換算ばね定数の設定2

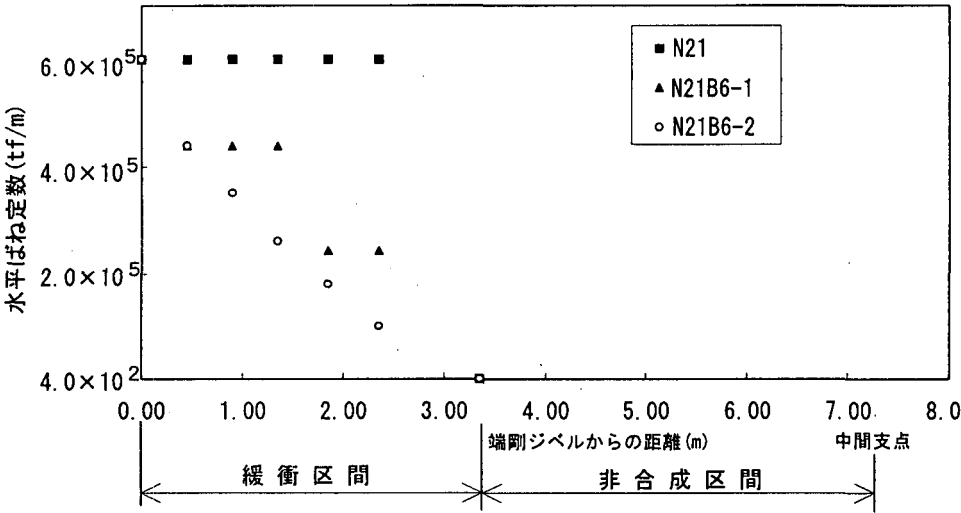


図1 緩衝区間におけるばね定数の設定

表1 設定1および設定2において仮定するスタッドジベル

X座標(m)	設定1 (N21B6-1)				設定2 (N21B6-2)			
	ばね定数(tf/m)	1列当り本数	分担幅(mm)	ピッチ(mm)	ばね定数(tf/m)	1列当り本数	分担幅(mm)	ピッチ(mm)
0.00	6.0×10^5	端剛ジベル			6.0×10^5	端剛ジベル		
0.45	4.4×10^5	13	450	100	4.4×10^5	13	450	100
0.90	4.4×10^5	13	450	100	3.5×10^5	13	450	125
1.35	4.4×10^5	13	450	100	2.6×10^5	11	475	150
1.85	2.4×10^5	13	500	200	1.8×10^5	12	500	250
2.35	2.4×10^5	13	500	200	1.0×10^5	9	750	500
3.35	4.0×10^2	端柔ジベル			4.0×10^2	端柔ジベル		

注) X座標は、端剛ジベルからの距離を示す

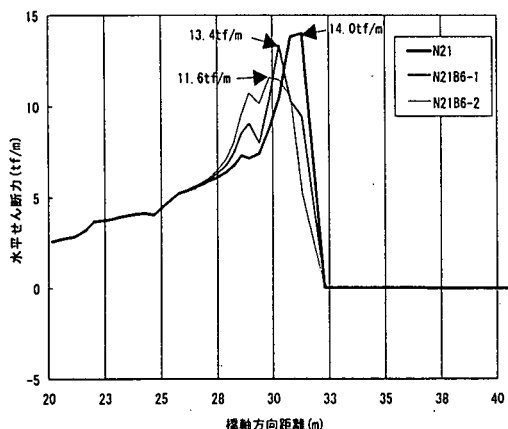


図2 ジベルの水平せん断力分布（全載荷時）

また、ジベルに作用する軸引張力の解析については1.0tf/mの等分布荷重を全載荷した状態で、温度差および乾燥収縮の影響解析について、示方書で定める温度差 10°C ⁵⁾としてそれぞれ実施し、いずれの場合もN21モデルのみについて検討した。

3. 解析結果

3. 1 緩衝区間を設けた場合のジベルに作用する水平せん断力分布および床版と鋼桁のずれ量

図2および図3に全載荷時における水平せん断力の分布および半載荷時における橋軸方向のずれ量の分布をそれぞれ示す。図2より緩衝区間を設けたN21 B 6-1およびN21 B 6-2モデルにおいて発生するせん断力のピークは13.4tf/mおよび11.6tf/mの最大ピーク値を示した。14.0tf/mの最大ピーク値を示したN21モデルに比較し、それぞれ約4%、約17%ピーク値が緩和され、その効果は認められたが、それほど大きな低減効果とはならなかった。一方、半載荷時には、26.4tf/mの最大ピーク値を示したN21モデルに比較し、それぞれ約23%、約29%ピーク値が緩和され、その効果は全載荷時に比較し顕著であったが、その絶対値は大きなものになっている。実橋を想定した場合は、全載荷時に相当する合成後死荷重時、および半載荷時に相当する列車荷重ならびに衝撃荷重を半載した場合を等分布荷重に換算して、水平せん断力のピーク値を加算して求めた概算値は、N21モデルで190tf/m程度、N21 B 6-1およびN21 B 6-2モデル

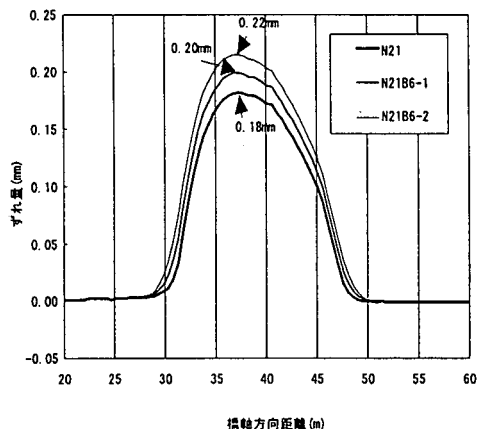


図3 床版と鋼桁のずれ量（半載荷時）

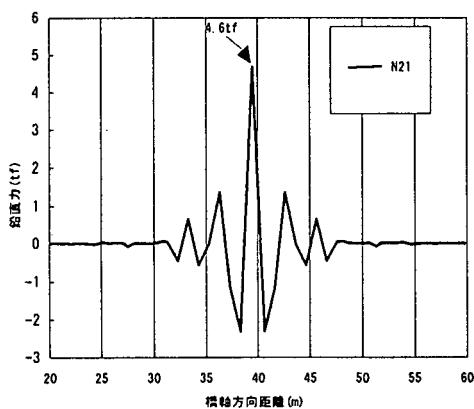


図4 ジベルの軸力分布

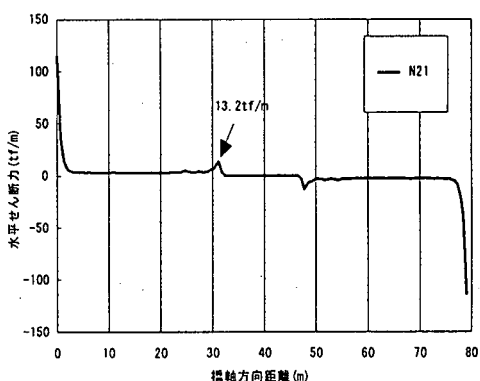


図5 温度差(10°C)による水平せん断力分布

ルではそれぞれ 162tf/m、145tf/m 程度となる。

図 3 に示すとおり、非合成区間にある柔ジベルの最大ずれ量は半載荷時に生じ、0.18mm の値を示した N21 モデルに対し、N21B6-1 モデルおよび N21B6-2 ではそれぞれ約 11%、約 22% 増加する結果となった。前述の水平せん断力を概算した方法と同様に、実橋を想定した場合の最大ずれ量は、片振幅において N21 モデルで 0.9mm 程度であり、N21B6-1 モデルおよび N21B6-2 モデルではそれぞれ 1.0mm、1.1mm 程度となる。なお、全振幅でみた上記の値は N21 モデルの 1.4mm に対し、N21B6-1 モデルおよび N21B6-2 モデルではそれぞれ約 10%、約 19% 増加する結果となる。

3. 2 柔ジベルの軸引張力および温度差の影響

図 4 に全載荷時におけるジベルに発生する軸力の分布を示す。中間支点上では、最大 4.6tf の軸引張力が発生している。これを実橋の場合に換算すると、約 43.8tf となる。解析結果からは、中間支点上のジベルにこのような軸引張力が発生する主な原因として、鋼桁腹板の局所的な沈下によるものと推察される。図 5 に温度差(10℃)の影響により発生する水平せん断力の分布を示す。緩衝区間における最大値は 13.2tf であり、3. 1 に述べた実荷重時における最大水平せん断力(190tf/m)に比較すると、その 7% 程度と大きな値とはならなかった。

4. 設計方法に関する考察

上述の解析結果に基づき、鉄道橋用断続合成桁を設計する上での留意点について以下にまとめる。

4. 1 境界部の水平せん断力

本結果から、緩衝区間を設定して完全合成区間と非合成区間における境界部のジベルのばね定数を漸変すれば、せん断力のピーク値を緩和させることができるが、その絶対値が大きく、スタッドジベルの耐荷性能から表 1 に示す本数では設計上満足させることができない。せん断力のピーク値を抑えるためには、非合成区間長を短くする方法もあるが、コンクリート床版により大きな引張力が作用し、通常以上の配筋が必要となる。したがって先の報告で述べたように、支間 40m 程度の 2 径間連続断続合成桁においては、非合成区間長を全長の 21% 程度にとどめて、鉄道橋で通常使用されている剛な馬蹄形ジベルによって集中するせん断力に抵抗させるのが得策であると言える。この場合、3. 1 で述べたように馬蹄形ジベルに作用する最大水平せん断力は 1 個当り $190/2=95\text{tf/m}$ となり、標準型馬蹄形ジベルのうち最大の耐力を有する J 型ジベル（設計耐力 $Q_u=102.3\text{tf/m}$ 、ただしコンクリートの設計圧縮強度 $\sigma_{ck}=280\text{kgf/cm}^2$ ）を、最小中心間隔⁵⁾に配置して使用することになる。このことから、支間長が 40m 程度を超えてさらに集中する水平せん断力が大きくなった場合には、より強度の高いコンクリートの使用、J 型以上の耐力を有するジベルの開発等によって対処する必要があるが、おのずから適用可能な支間には限界があると考えられる。また、実橋を想定したジベル 1 個当りの水平せん断力の最大変動値は $166/2=83\text{tf/m}$ となり、示方書で定める疲労を考慮した耐力 $Q_u'=71\text{tf/m}$ を超えるが、疲労を考慮する場合には、通常ピーク値によらず、集中する水平せん断力の分布幅(支間の 1/10 程度)で平均化し $95/2=47.5\text{tf/m}$ と考えてもさしつかえない。なお、せん断力が集中する部分のコンクリート床版には、桁端部と同様に十分な補強鉄筋を配置する必要がある。

4. 2 床版と鋼桁のずれ量

柔ジベルにおける最大ずれ量の全振幅は、先に報告した柔ジベルの疲労耐力上決定したずれ限度値(1.3mm)をわずかに超える結果となった。支間長が 40m 程度を超える場合には、ロール H 形鋼からなる柔ジベルのランクアップにより対処する必要がある。

4. 3 中間支点上の柔ジベルに作用する軸引張力

解析結果からは比較的大きな値となったが、先に実施した模型試験の結果では、ほとんど発生が見ら

れなかった。実際の構造ではその支点部にあるソールプレート、上沓およびダイアフラムによって鋼桁腹板の変形が抑制され、計算結果ほどの応力は発生しないと考えられる。柔ジベルは、列車荷重による横荷重や衝撃によってコンクリート床版の橋軸直角方向に無理な力が生じないよう、50cm程度の間隔で配置すればよいと考えられる。

4. 4 温度差および乾燥収縮の影響

温度差および乾燥収縮により境界部に作用する水平せん断力は、死荷重ならびに列車荷重によるものと比較して設計上無視できる程度のものであり、4. 2に述べたせん断補強鉄筋により十分対処できるものと考えられる。

5. あとがき

以上の検討により、次のことが明らかになった。

- ① 緩衝区間を設けて、スタッドジベルの本数、すなわちばね定数を漸変させることにより水平せん断力のピーク値を緩和させることができるが、その絶対値はスタッドジベルの耐荷力を大きく上回るため、先に提案した剛ジベルによって対処するのがよい。
- ② 支間長が40m程度を超える断続合成桁の境界部にある剛ジベルにおいては、より強度の高いコンクリートの使用等により耐力の増大を図る必要がある。
- ③ 支間長が40m程度を超える断続合成桁の非合成区間にある柔ジベルは、その疲労耐力の観点から、ランクアップを図る必要がある。
- ④ 中間支点上の柔ジベルに作用すると考えられる軸引張力は、柔ジベルの配置を決定する要因とはならなかった。
- ⑤ 温度差および乾燥収縮による境界部にある剛ジベルの水平せん断力に与える影響は小さく、設計上無視してよい。

今後、3次元による詳細な解析または必要に応じて実験を行い、支間長による影響、異径間の構造、3径間連続構造などについて深度化を図り、より一般的な設計方法に発展させていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 長門範高：連続合成けたの設計—第2武庫川橋りょう—，構造物設計資料，No.67，pp.11-14，1981.9
- 2) 阿部英彦，中島章典，堀内博：合成桁におけるスラブ分割の影響と柔ずれ止めの開発，構造工学論文集，Vol.35A，pp.1205-1214，1989.3
- 3) 稲葉紀昭，井口光雄：鉄道橋用断続合成桁の設計法の提案，構造工学論文集，Vol.41A，pp.1085-1096，1995.3
- 4) 阿部英彦：鉄道用合成桁のずれ止めに関する実験的研究（1975年3月）
- 5) 鉄道総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説，丸善株式会社（平成4年10月）