

線路下横断工に用いる簡易工事桁の合理的な設計

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○土屋正宏 佐々木敦司 鬼頭直希 石原匠
公益財団法人 鉄道総合技術研究所 正会員 仲山貴司

1. はじめに

鉄道営業線直下において立体交差道路の建設や河川改修に伴い函体を構築するための工法の一つに、非開削工法がある。非開削工法の中の一つに、小型角型鋼管等(以下、エレメント)を鉄道営業線直下に牽引もしくは推進しながら掘削するものがある。この工法による施工時には、線路下を掘削することから、軌道監視体制の強化、即時の裏込め注入などの安全対策を実施するほか、簡易工事桁を設置する。簡易工事桁とは、H形鋼を主桁とし、これをまくらぎに直結し、レール、まくらぎおよびH形鋼を一体とした桁構造(図1)であり、多くの使用実績があるものである。簡易桁の設計に際しては、陥没や地盤内の緩みを一律に評価した手法が用いられ、安全側に大きな余裕をみたものとなっていた。そこで、石原ら¹⁾は実験と既往の知見を用いて、簡易工事桁の設計に用いる地盤反力を、従来の考え方よりも高精度に評価する設計手法を提案した(以下、提案モデル)。鉄道営業線直下での非開削工法による施工は、当社で多数計画されており、安全を確保した上で、簡易工事桁の設計業務の効率化、施工性を考慮した合理的な構造が求められている。本研究では提案モデルを用いて、簡易工事桁の試設計を実施し、標準構造の提案および標準構造を用いるための選定フローを提案したので報告する。

2. 従来の簡易工事桁の設計上の課題

簡易工事桁は地盤をばねとした弾性床上の梁とみなして設計している。従来の地盤内の陥没および緩み範囲の設定モデル(以下、従来モデル)²⁾を図2に示す。従来モデルは、陥没範囲および緩み範囲を算出するための地盤内の崩壊角を、主動崩壊角より安全側の45度で算出していた。そのため、土被りが大きくなるほど、陥没範囲が広く設定される。簡易工事桁の主桁は、建築限界との関係から部材高を大きくすることができないため、汎用品のH形鋼では要求性能を満たすことができず、部材厚を増加させた特注規格のH形鋼が必要となる。そのことから、コストの増加や、重量増による施工性の低下が課題となっていた。

3. 提案モデルによる簡易工事桁の試算

(1) 提案モデルによる地盤反力係数の評価 提案モデル¹⁾に表1の計算条件を用いて、地盤反力係数を算出した。図3に、土被り2.5mにおける従来モデルと提案モデルの地盤反力係数の低下率を示す。地盤反力係数の低下率「0」は、地盤の陥没範囲を示しており、提案モデルは従来モデルに比べ、陥没範囲が低減されるとともに、地盤の緩み範囲を陥没の近傍から徐々に考慮することができる。

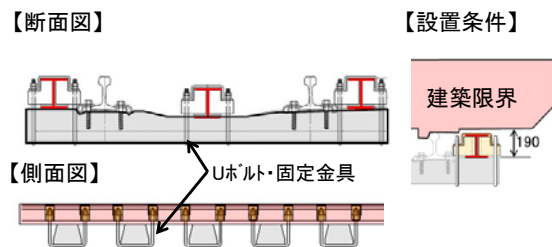


図1 簡易工事桁の概要

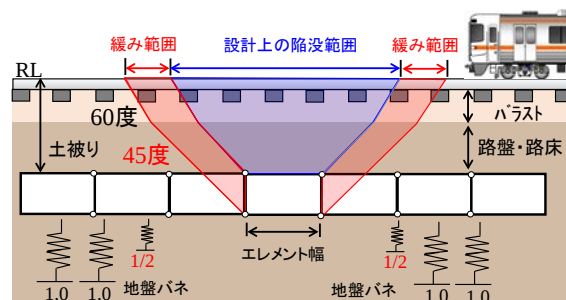


図2 従来モデルの模式図

表1 設計条件(地盤反力係数)

項目		値
地盤	土被り (m)	1.0, 2.5, 5.0
	内部摩擦角 (°)	地盤
	粘着力 (kN/m ²)	10, 20
	単位体積重量 (kN/m ³)	18
	まくらぎ幅 (m)	0.44

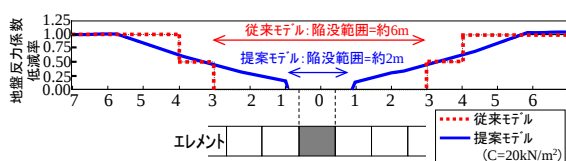


図3 地盤反力係数の低下率(土被り 2.5m)

キーワード 簡易工事桁, 地盤反力係数, 線路下横断工

連絡先 〒450-6101 愛知県名古屋市中村区名駅 1-1-4 東海旅客鉄道(株)建設工事部土木工事課

(2)簡易工事桁の仕様と設計条件 表2に、簡易工事桁の仕様と設計条件を示す。主桁となるH形鋼は、施工性および経済性の向上を目的に、汎用品のH形鋼の3主桁とした（以下、標準構造）。また、建築限界に支障しないよう、主桁高さは150mmとした。なお、列車速度は、当社の安全対策の定めに基づき徐行50km/hとした。

(3)計算結果 図4～7に、主桁中央における最大曲げモーメント、最大変位量、曲げ引張応力度、せん断応力度の照査結果を示す。なお、地盤の設計条件は表1を使用した。許容変位量は、仮設構造物における列車走行安全性の検討に用いる鉛直方向の変位量の限界値20mmとした。提案モデルにより、土被りの増加による曲げ・せん断応力度が低減され、曲げ引張応力度およびせん断応力度の照査では、粘着力に関わらず土被り5.0mまで、標準構造が限界値以下となった。一方、変位量の照査において、粘着力 $C=10\text{kN/m}^2$ では、許容変位量の20mmを超過したため、標準構造の適用には、 $C=20\text{kN/m}^2$ 以上確保する必要があることがわかった。

4. 標準構造を用いるための選定フローと適用効果

図8に、標準構造を適用するための選定フローを示す。砂質土はN値10以上³⁾、粘性土はN値4以上⁴⁾であれば、粘着力 $C=20\text{kN/m}^2$ と同等として評価できるため、多くの現場で調査・設計段階から取得されるN値も指標とした。また、特注規格の簡易工事桁と標準構造の材料費（製作・運搬）・施工費（設置・撤去）を試算して比較した。表3にコストと施工量の比較を示す。なお、材料費は簡易工事桁の主桁材料のみ（固定金具除く）で算出し、施工費は夜間施工の条件としている。

簡易工事桁の合理的な設計を行えたことにより、コストを低減でき、また簡易工事桁の重量も大幅に軽量化できた。そのため、列車の走行しない時間帯で設置・撤去する簡易工事桁の施工性も向上する結果となった。

5. まとめ

提案モデルを用いた簡易工事桁の標準構造を適用できる条件を整理した。また、標準構造の選定フローを作成し、製作費・施工費の低減率を試算し、効果を確認した。今後は、提案モデルを実証実験により検証し、実現場に標準構造を適用する計画である。

6. 参考文献

- 1) 石原匠 仲山貴司 西岡英俊：線路下カルバート構築における小断面掘削時の地盤への影響評価，地下空間シンポジウム，2019.1
- 2) 鉄道ACT研究会：工事桁工法 技術資料，2008
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（抗土圧構造物），2000
- 4) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造標準），2013

表2 仕様と設計条件

項目	値
H形鋼 (汎用品)	主桁寸法(m)
	主桁材質
	主桁本数(本)
列車荷重	E-17
列車速度(km/h)	50(徐行)
軌道構造	バラスト・PCまくらぎ
軌道線形	直線
まくらぎ配置間隔	44本/25m

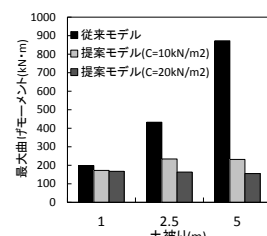


図4 最大曲げモーメント

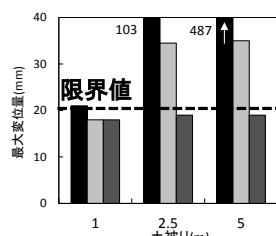


図5 最大変位量

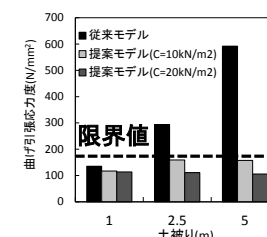


図6 曲げ引張応力度

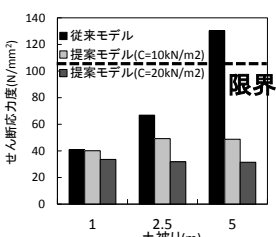


図7 せん断応力度

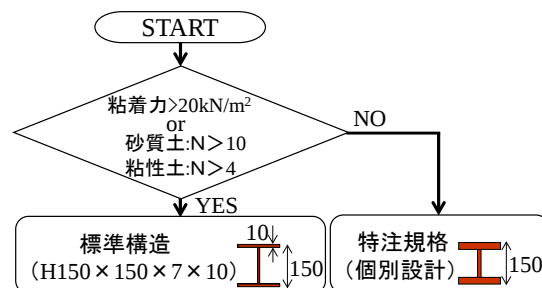


図8 構造形式の選定フロー

表3 コストと施工量の比較

項目	特注規格 H150×180×12×25	標準構造 H150×150×7×10	効果
材料費	15,400 千円 (28t×550 千円)	702 千円 (7.8t×90 千円)	約9割低減
施工費	12,600 千円 (28t×450 千円)	3,510 千円 (7.8t×450 千円)	約6割低減
施工量	約110kg/m	約30kg/m	約1/3の重量