

JES 工法の設計効率化に関する一考察

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○土橋 幸彦
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 内藤 圭祐

1. はじめに

JES 工法は、JES 継手を有する鋼製エレメントを地中に挿入することにより、線路下に非開削で箱型ラーメン形式等の構造物を構築するものである。鋼製エレメントは壁やスラブなどの構造部材となるが、この大きさは作業時に人が内部に入ることを可能とするため、高さ 850mm のサイズを標準としている(図-1)。しかし、標準サイズで構成される部材は設計作用に対して、必要以上の部材耐力を有している場合が多い。このことから、ある範囲の設計条件下において、あらかじめ部材性能を満足していることが確認できれば、今後の設計作業で計算や照査などの効率化が図れると考えた。

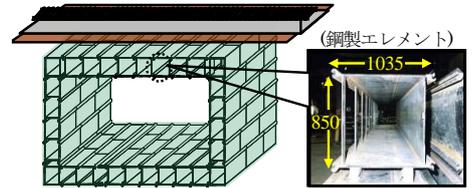


図-1 線路下構造物概略図(JES 函体)

2. 設計効率化の概要

今回、JES 構造物のうち一般的である 1 層 1 径間のボックスカルバート(以下、JES 函体)を対象として設計作業の効率化が可能となる条件を明確にすることを目的とした。そこで、JES 函体の標準的な設計フローのうち、構造寸法の仮定と、断面力・耐力の算定などの設計計算の間に、計算が省略可能であるかを判定する基準を設け、基準を満足したものについては設計計算と各性能の検討(照査)作業を省略し、直接図面化に着手することを目標とした(図-2)。

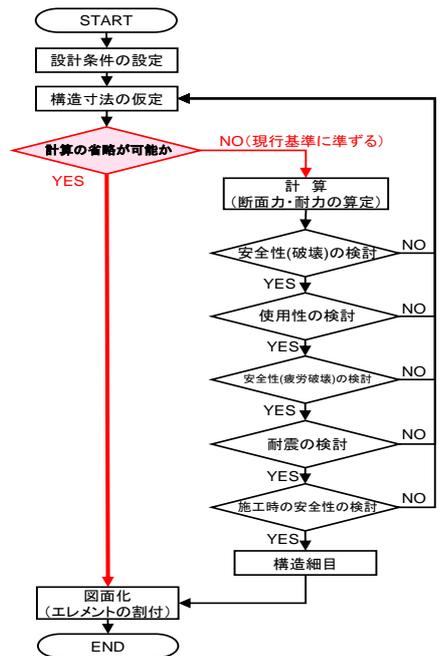


図-2 JES 函体の効率化設計フロー

3. 効率化に向けた検討

3.1 判定基準の検討方法

1 層 1 径間の構造形式において、4 つのパラメーターを変化させた試計算を繰り返し行い、各ケースの部材の照査結果を確認して、判定基準となる閾値を設定する。パラメーターは、構造物の性能を決める特に重要なものから、①土被り(施工基面から構造物天端までの深さ)、②地盤条件(土質や土質定数)、③地下水位、④構造寸法(スパン・高さ)の 4 つとした。なお、照査は図-2 の設計フローに記載した現行の設計照査基準に準ずるものをすべて行う。

3.2 構造解析モデル

図-3 に構造解析モデルを示す。解析は梁・ばねモデルによる骨組解析とし、構造物を梁要素、地盤をばね要素として付与した。主な荷重は、鉛直方向の構造物自重や鉛直土圧、水平方向の静止土圧や水圧である。

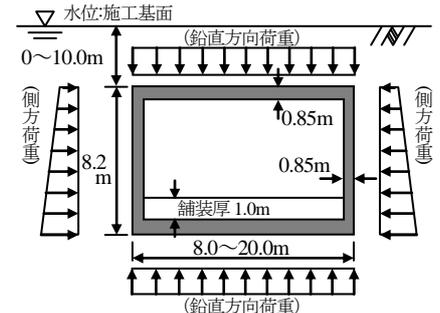


図-3 構造解析モデル

3.3 計算条件

閾値検討にあたり、計算条件を以下のとおり設定した。

- ・地盤は砂質土、粘性土の 2 通りとし、N 値=1 の単一層とする
- ・地下水位は最も荷重が大きくなる施工基面とする
- ・壁高は既往の工事例を参考に 8.2m とする

地盤条件や水位は施工箇所により様々であり、一概に設定することは難しい。今回は設計上、最も不利な条件となる軟弱地盤とし、水圧は荷重が大きくなるよう最も高い水位とした。以上の条件の下、土被りとスパンを変数として、閾値の設定を試みる。代表的な設計用値を表-1 に示す。

表-1 設計用値

| 設計用値 | 記号 | 単位 | 地盤条件 | |
|------------------------------|-----------------|-------------------|------|------|
| | | | 砂質土 | 粘性土 |
| N 値 | N | — | 1 | 1 |
| 変形係数 | E ₀ | kN/m ² | 2500 | 2500 |
| E ₀ の補正係数(永久作用) | α | — | 1 | 1 |
| E ₀ の補正係数(永久作用以外) | α | — | 2 | 2 |
| 地盤抵抗係数 | f _{rk} | — | 1.0 | 1.0 |
| 静止土圧係数 | K ₀ | — | 0.5 | 0.8 |
| 土の単位体積重量 | γ | kN/m ³ | 17 | 15 |
| 土の水中単位体積重量 | γ _w | kN/m ³ | 7 | 5 |

キーワード：JES，設計，地下構造物

連絡先：〒370-8543 群馬県高崎市栄町 6 番 26 号

東日本旅客鉄道株式会社 上信越工事事務所 工事管理室 TEL 027-324-9369

4. 検討結果

4. 1 試算結果

閾値検討に伴い、スパンおよび土被りを変えた試算結果を表-2に示す。表中の照査とは、図-2に示す現行基準に準ずる各照査のことである。また、OKとは各照査項目を全て満足した場合を示し、NGとは各照査項目のうち、ひとつでも照査を満足しない場合を示している。試算より得られたOKとNGの境界を閾値とし、設計計算の省略が可能となる範囲を図-4に示す。

4. 1. 1 部材性能照査結果

表-2に示す通り、多くのケースにおいて、使用性で照査値を満足しない結果となることが分かった。また、同スパンにおいて地盤条件毎の閾値を比較した結果、同じ土被りであっても、砂質土のほうが発生断面力が大きくなり、閾値が粘性土より小さい値であった。これは、土の単位体積重量、静止土圧係数、側方荷重(砂質土:土水分離,粘性土:土水一体)の違いが生じるためである。

4. 1. 2 施工時の安全性の検討に関する事項

JES 構造物は施工時に想定される構造状態に対し、所要の耐力を有することを確認しなければならない。完成時はエレメント内にコンクリートが充填されるが、施工時は中空状態であり、列車荷重、死荷重、鉛直土圧などに対して、耐力があることを確認する必要がある(図-5)。本検討条件である標準サイズのエレメントにおいては、砂質土で土被り 5.5m, 粘性土で土被り 6.0m までの範囲において安全性を有することが確認できた。

4. 2 閾値の使用条件

閾値検討を行うなかで、本判定基準を使用するための条件設定が必要となることが分かった。

耐震の検討は、地盤の層間変形角が 1/60 以下か否かによって、詳細な耐震性能照査の有無を判断するが、本検討では計算効率化の観点から、詳細な検討が不要となる層間変形角 1/60 以下であることを前提とした。

また、く体の安定(浮き上がり)に関して、本検討では、部材性能を決定する計算の効率化を図る目的であるため、必ずしも浮上りに対して安全側の設計となる条件設定ではない。よって、部材性能の決定と浮上りの照査を共通の指標で評価することは困難であり、断面形状を設定した後、別途浮上りに関して問題がないかの確認が必要となる。

5. 既往工事との比較

今回設定した閾値と既往工事のスパン・土被りの関係を比較した結果を図-6に示す。地盤条件や地下水位など条件の違いはあるが、今回設定した閾値は既往工事を概ね包含しており、多くの構造物において設計の効率化が図られることが分かる。

6. まとめ

今回、高さ 850mm の標準サイズエレメントを使用した JES 函体 1 層 1 径間において、設計効率化が可能となる判定基準を作成した。閾値として、スパンは 17m まで、土被りは砂質土で 5.5m, 粘性土では 6.0m までの範囲において、設計計算および照査の省略が可能である。これにより、設計に要する工期および費用の削減が可能となった。また、本基準の考え方は 1 層 2 径間など、他の構造形式においても展開が可能であり、設計の効率化が可能となる範囲について、更なる拡大が見込める。

表-2 試算結果

| ○部材性能照査(砂質土) | | | | | ○部材性能照査(粘性土) | | | | |
|--------------|---------|---------|------|--------|--------------|---------|---------|------|--------|
| 検討 CASE | スパン (m) | 土被り (m) | 照査結果 | 照査NG項目 | 検討 CASE | スパン (m) | 土被り (m) | 照査結果 | 照査NG項目 |
| 1 | 8 | 10 | OK | — | 1 | 9 | 10 | OK | — |
| 2 | 9 | 10 | NG | 使 | 2 | 0 | 0 | OK | — |
| 3 | | 0 | OK | — | 3 | 10 | 9 | OK | — |
| 4 | | 6.5 | OK | — | 4 | | 10 | NG | 使 |
| 5 | 10 | 7 | NG | 使 | 5 | | 3.5 | OK | — |
| 6 | | 8 | NG | 使 | 6 | 13 | 4 | NG | 使 |
| 7 | | 10 | NG | 使 | 7 | | 0 | OK | — |
| 8 | 13 | 3 | OK | — | 8 | | 2 | OK | — |
| 9 | | 3.5 | NG | 使 | 9 | 15 | 2.5 | NG | 使 |
| 10 | | 0 | OK | — | 10 | | 5 | NG | 破、使 |
| 11 | | 1.5 | OK | — | 11 | | 10 | NG | 破、使 |
| 12 | | 2 | NG | 使 | 12 | 17 | 0 | OK | — |
| 13 | 15 | 3 | NG | 使 | 13 | 18 | 0 | NG | 疲 |
| 14 | | 4 | NG | 破、使 | 14 | 19 | 0 | NG | 使、疲 |
| 15 | | 5 | NG | 破、使 | 15 | | 0 | NG | 破、使、疲 |
| 16 | | 10 | NG | 破、使 | 16 | 20 | 10 | NG | 破、使 |
| 17 | 17 | 0 | OK | — | | | | | |
| 18 | 18 | 0 | NG | 疲 | | | | | |
| 19 | 19 | 0 | NG | 使、疲 | | | | | |
| 20 | 20 | 0 | NG | 破、使、疲 | | | | | |
| 21 | | 10 | NG | 破、使 | | | | | |

【照査NG項目 凡例】
 破:安全性(破壊), 使:使用性
 疲:安全性(疲労)

○施工時の安全性の検討

| (砂質土) | | | (粘性土) | | |
|---------|---------|------|---------|---------|------|
| 検討 CASE | 土被り (m) | 照査結果 | 検討 CASE | 土被り (m) | 照査結果 |
| 1 | 0 | OK | 4 | 6 | NG |
| 2 | 5 | OK | 5 | 10 | NG |
| 3 | 5.5 | OK | | | |

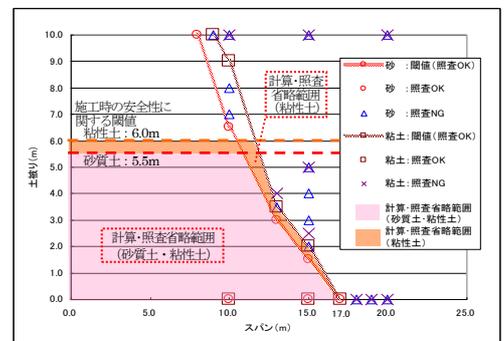


図-4 試算結果と閾値設定

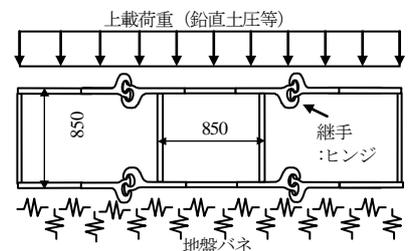


図-5 施工時の安全性の検討モデル

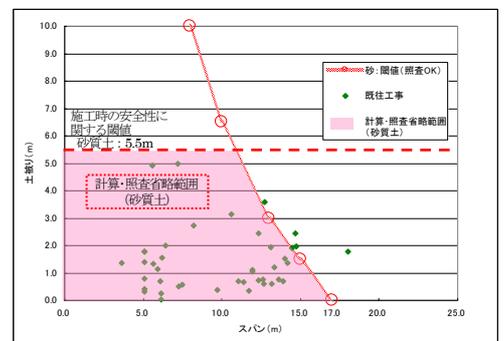


図-6 閾値と既往工事数値の比較