

## 鉄道開削トンネルにおける RC 部材のせん断耐力評価に関する一考察

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○川西 智浩  
 (財) 鉄道総合技術研究所 正会員 松枝 修平  
 (財) 鉄道総合技術研究所 正会員 岡本 大  
 (財) 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆

### 1. はじめに

RC 部材のせん断耐力は、図 1 に示す、支点と載荷点の距離( $a$ )と有効高さ( $d$ )の比であるせん断スパン比( $a/d$ )に影響を受けることが知られている<sup>1)</sup>。しかし、開削トンネルの側壁や上下床版のような分布荷重を受ける部材は、 $a/d$ を適切に評価することが難しいため、鉄道開削トンネルの耐震設計においては $a/d$ の影響を考慮せず、せん断耐力を安全側に評価している。そこで本検討では、分布荷重を受ける RC 部材のせん断耐力の評価方法の一つである等価せん断スパン法<sup>2)</sup>を鉄道開削トンネルに適用して試算を実施し、現行の方法による結果と比較することにより、その効果の検証を行った。

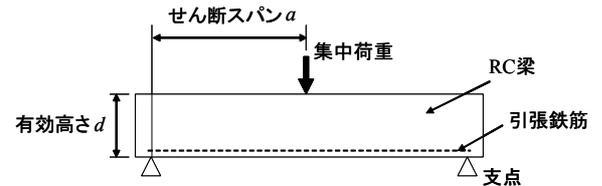


図 1 RC 部材のせん断スパン比

### 2. 現行の開削トンネルのせん断照査方法

せん断スパン比の影響を考慮した RC 部材のせん断耐力算定式としては、以下の式が挙げられる。

- 棒部材のせん断耐力  $V_{yd}$  ( $a/d \geq 2$ )

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b, \quad \beta_a = 0.75 + 1.4 / (a/d) \quad (1)$$

ここで、 $V_{cd}$ :せん断補強鋼材を用いない棒部材のせん断耐力、 $V_{sd}$ :せん断弾性補強鋼材により受け持たれる棒部材のせん断耐力である。

- ディープビームのせん断耐力  $V_{dd}$  ( $a/d < 2$ )

$$V_{dd} = (\beta_d \cdot \beta_n + \beta_w) \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b, \quad \beta_a = 5 / (1 + (a/d)^2) \quad (2)$$

式(1),(2)における記号の詳細については、文献3)を参照されたい。ここで、分布荷重を受ける一般的な構造物では、せん断スパン比 $a/d$ を適切に評価することが難しいため、現行の鉄道の設計標準<sup>3)</sup>では、 $\beta_a$ を1.0とした式(1)を用いることにより、安全側の評価を行っている。

また本検討では、図 2 に示すように、一般的に照査結果が厳しくなる傾向にある 2 種類の位置を代表照査位置として設定し、照査結果が厳しい方を採用することとした。

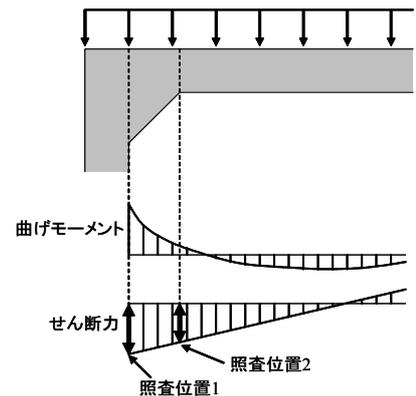


図 2 現行の照査方法を用いる場合の代表照査位置

### 3. せん断の照査方法の見直し

これまでに、実験的検討に基づいた分布荷重を受ける RC 部材のせん断耐力の評価方法がいくつか提案されている。代表的な手法としては、分布荷重をその合力と同じ大きさを有する集中荷重に置き換える方法(等価せん断スパン法)が挙げられる。本検討では、実験結果<sup>4)</sup>に基づいて等価せん断スパン法を簡略化した原子力指針<sup>2)</sup>の評価方法をベースとして、以下の手順でせん断の照査を行うこととした。

- せん断スパンの設定

区間内に曲げモーメントの反曲点が存在する場合には、図 3 に示すように 2 種類の等価せん断スパンを設定する。曲げモーメントの反曲点が

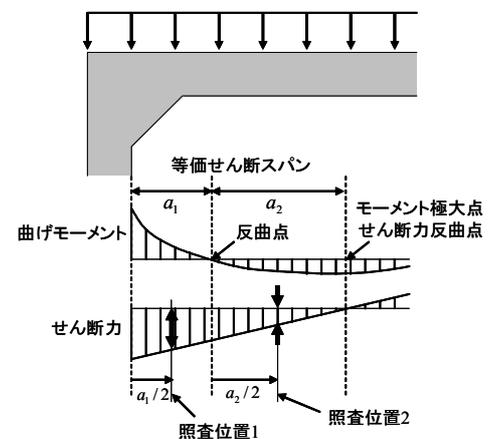


図 3 せん断の照査方法の見直し

キーワード 開削トンネル, 鉄道, せん断耐力, 等価せん断スパン

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7394 FAX 042-573-5326

ない場合には、側壁（あるいは上下床版・柱）前面からモーメント極大点まで（つまり、図3における $a_1+a_2$ のイメージ）を等価せん断スパンとする。

・せん断耐力の算定

せん断耐力は、等価せん断スパンを設定した各区間内のせん断スパンを用いて、式(1),(2)により算定する。ただし、直接支点等で支持されていない間接支持の区間（等価せん断スパン $a_2$ の区間）については、式(1)の棒部材式のみ適用し、式(2)のディープビーム式は用いないものとする。また、せん断耐力の算定にあたり、ハンチの影響は無視することとした。

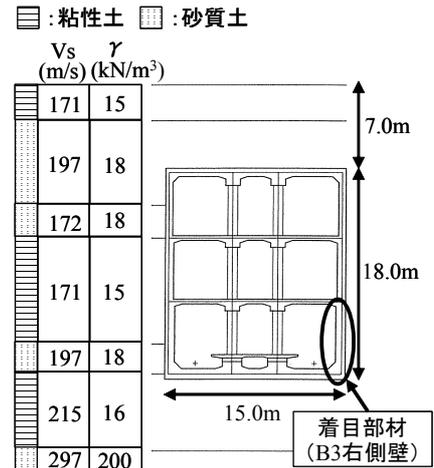
・照査位置の設定

照査位置は、図3に示すように等価せん断スパンを設定した各区間の中央の位置とする。ただし、 $D/2 \leq (\text{照査位置}) \leq 1.5d$  ( $D$ :断面高さ)とする。

4. 試算

ここでは、図4に示す3層3径間の開削トンネルに対して、2.および3.で示した方法を用いてせん断耐力を計算するとともに、応答変位法を用いて応答値の算定を行う。そして、発生する断面力が最も大きい側壁部材に着目し、現行の鉄道設計標準にしたがって照査を行った結果を比較することとした。なお本検討では、せん断耐力の算定に3.の方法を用い、照査位置を2.で示した現行法と同位置としたケース（以下、比較ケース）についても検討を実施した。

試算の結果得られた、設計せん断力、設計せん断耐力と照査結果を表1に示す。3.に示した新方法では、等価せん断スパンの1/2位置での設計せん断力を用いることから、設計せん断力そのものが2.に示した現行法よりも10%程度小さくなる。これに加えて新方法では、式(1)中の $V_{cd}$ が、 $a/d$ の影響（約1.25倍）により1.3倍程度まで小さくなった。この結果、現行法に比べて設計せん断耐力は6%程度大きくなった。一方、前述のように設計せん断力も小さくなったことから、最終的に照査結果は0.89から0.75となった。以上より、今回検討を行ったせん断の照査方法を用いることにより、鉄道開削トンネルの設計が現行の評価方法よりも合理的になることがわかった。なお、照査位置のみ現行法とした比較ケースでは、照査結果が0.85となり、照査位置の影響も大きいことがわかった。照査位置の考え方については、事例を増やすことにより、引き続き検討を実施する予定である。



※基盤面はさらに深い位置(-46m)

図4 対象とする構造物

表1 試算結果

計算パターン	せん断スパン比	設計せん断力	設計せん断耐力	照査結果
	$a/d$	$V_d$ (kN)	$V_{yd}$ (kN) ( $V_{cd}$ (kN), $V_{sd}$ (kN))	$\gamma_i \cdot V_d / V_{yd}$
2.の方法 (現行法)	6.67	1374.5	1543.7 (295.9, 1247.8)	0.89
3.の方法 (新方法)	2.76	1227.7	1637.0 (389.2, 1247.8)	0.75
比較ケース (照査位置のみ現行法)	2.76	1374.5	1619.8 (372.0, 1247.8)	0.85

5. まとめ

本検討では、開削トンネル等の分布荷重を受けるRC部材のせん断耐力を合理的に評価するために、等価せん断スパン法を鉄道開削トンネルに適用し、せん断耐力の評価を行った。今回示したせん断の照査方法については、さらに検討を加えた上で、鉄道の開削トンネルにおけるせん断の照査に適用したいと考えている。

参考文献 1) 二羽淳一郎, 山田一宇, 横沢和夫, 岡村甫:せん断補強筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, No.372/V-5, pp.167-176, 1986. 2) 土木学会, 原子力土木委員会:原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針. 2005.2 3) (財)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 2004. 4) 遠藤達巳, 青柳征夫, 松村卓郎:鉄筋コンクリート製地中構造物の限界状態に用いるせん断耐力評価法, 電力中央研究所報告 U91052, 1992.