

セグメント用ベントナイトシール材の特性について

東京電力株式会社 正会員 高橋 晃
 東京電力株式会社 正会員 竹内 友章
 株式会社関電工 市野 義治

1. はじめに

ベントナイトシール材は、ベントナイト止水材（粘土状）に、セグメントシールに適用させるため熱可塑性エラストマー等を配合し、弾性を付与したセグメント用シール材である。

このシール材は、比較的浅い位置に建設される主桁が薄くシール溝が設置されない溝なしセグメントに対応するために開発したものであり、各種性能試験結果から、水圧0.3MPa程度以下のトンネルにおいては止水材として適用可能という判断を得ている¹⁾。今回は、このベントナイトシール材を溝ありセグメントに適用することの可能性について各種性能試験により検討したものである。なお、適用の良否は、「セグメントシール材による止水設計手引き²⁾」（以下、「手引き」と称す。）を参考に、現在一般的に使用されている水膨張性シール材の特性と比較することにより行った。ベントナイトシール材の特徴を表 1 に示す。

表 1 ベントナイトシール材の特徴

構成材料	ベントナイト, 熱可塑性樹脂, 可塑剤, 吸水性樹脂, その他
経済性	水膨張シール材の50~80%程度
可塑性	粘土特有の可塑性を持ち, セグメント組立時に施工しやすい
膨潤性	主成分鉱物であるモンモリロナイトが, 水と接触して結晶層間を拡げて膨潤するため, 水との接触面のみ膨張し, 過大な膨張を起こさない

と称す。）を参考に、現在一般的に使用されている水膨張性シール材の特性と比較することにより行った。ベントナイトシール材の特徴を表 1 に示す。

2. 性能試験の目的と条件

今回実施したベントナイトシール材の性能試験と目的は以下のとおりである。

- ・基礎物性試験：引張試験，硬さ試験，せん断接着強さ試験などによりシール材の基礎物性を確認する。
- ・浸せき試験：自由および拘束膨張条件下で浸せきさせ，膨張状況，吸水性材料の溶出量などを把握する。
- ・圧縮試験：荷重 - 圧縮変形の関係から，シール材の圧縮特性を把握する。圧縮特性は止水設計における初期界面応力（ σ_0 ）の推定に用いる。
- ・耐水圧試験：作用水圧と界面応力の関係から止水特性を確認する。止水特性は止水設計における自封効果による界面応力の増加率【 $\mu = \frac{\sigma_w}{\sigma_0}$ （漏水時界面応力） / σ_0 （初期界面応力）】の推定に用いる。
- ・応力緩和試験：界面応力の経時変化から応力緩和特性を把握し，シール材の耐久性を評価する。応力緩和特性は止水設計における応力緩和と水膨張圧を考慮した界面応力の有効率【 $\eta = \frac{\sigma_{eff}}{\sigma_0}$ （施工時または供用時界面応力） / σ_0 （初期界面応力）】の推定に用いる。

表 2 シール材の形状

なお、性能試験に用いたシール材の形状を表 2 に、今回設定したシール溝を図 1 に示す。また、試験における目開き量は、耐水圧試験で 1, 2mm，応力緩和試験では 2mm，目違い量は両試験とも 0mm で実施した。

	性能試験	溝ありの場合の試験	溝なしの場合の試験
シール材の形状	基礎物性試験	幅B:15mm × 厚さt:3mm	
	膨張試験	幅B:15mm × 厚さt:5mm	幅B:15mm × 厚さt:3mm
	圧縮試験		
	耐水圧試験	幅B:15mm × 厚さt:8(5+3)mm	
応力緩和試験			

3. 性能試験の結果

手引きにおける止水の考え方は、密封の原理（パッキン理論）に基づくものであり、シール材とフランジなどの固体の接触面における界面応力が作用水圧以下となれば、漏水が発生するというものであり、施工時および供用時における界面応力は

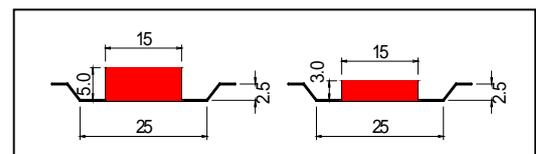


図 1 シール溝、シール材の構造

キーワード シールドトンネル，セグメントシール，ベントナイト

連絡先 〒100-8560 東京都千代田区内幸町 1-1-3 東京電力株式会社 TEL：03-4216-4204

【 $\sigma = \sigma_0 \times s$ (材料係数) $\times \mu$ 】で算定される。

ここでは、止水設計に用いる初期界面応力や各係数 (μ , s) を推定するのに必要となる圧縮試験、耐水圧試験、応力緩和試験の結果の1例（シール材種別：Bt-1）を記述する。

3.1 圧縮試験結果

圧縮試験結果を図2に示す。圧縮特性は、シール材の形状、寸法、材質、硬さなどにより異なり、止水設計には実際に用いるシール材の特性を確認する必要がある。今回の圧縮試験結果からは、ベントナイトシール材においても、水膨張シール材と同様に圧縮ひずみが35%程度以下の領域においては、ほぼ弾性的な圧縮特性を示していることが判明した。

3.2 耐水圧試験

手引きでは、シール材がシール溝の中に封入されている場合には、自封作用（水圧によってシール材の界面応力が増加する現象）により界面応力が増加するとあり、その増加率は試験等により確認することとなっている。ベントナイトシール材を用いた耐水試験結果を図3に示す。同図からベントナイトシール材においても自封作用が確認され、界面応力の増加率 (μ) は、目開き量 (s) 1mm, 2mm の場合、それぞれ約 1.41, 1.76 であった。

3.3 応力緩和試験

長期的な界面応力の変化は、シール材の応力緩和と水膨張による膨張圧の増加の和となる。応力緩和試験の結果を図4に示すが、ベントナイトシール材においても、試験開始後約30日を経過した段階で、膨張圧による界面応力の増加が確認された。有効率 (μ) は、試験開始後約100日の段階で約0.57であった。

4. まとめ

今回実施した各種の性能試験により、ベントナイトシール材の止水特性や応力緩和特性は、現在一般的に使用されている水膨張性シール材と同様の特性を持っていると判断できた。ベントナイトシール材は水膨張性シール材に比べ硬度が低く、現段階では高水圧下での使用は困難であるものの、安価であることから、浅部に建設されるトンネルで、止水に対する要求性能が水圧 0.2MPa 程度以下であれば、セグメント溝のあり、なしに関係なく使用可能と考える。

参考文献

- 1) 竹内友章・高橋晃・市野義治・深澤景介：「中詰めトンネル用簡易覆工体とベントナイトシール材の開発」電力土木，No.313，2004.9.
- 2) 「セグメントシール材による止水設計手引き」平成9年1月社団法人 日本トンネル技術協会

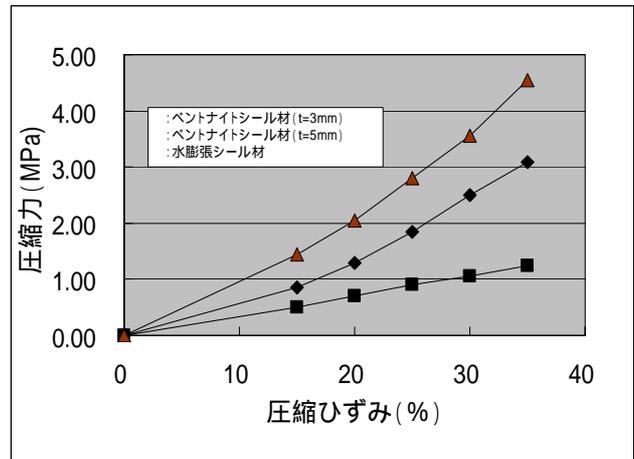


図 2 圧縮特性の比較

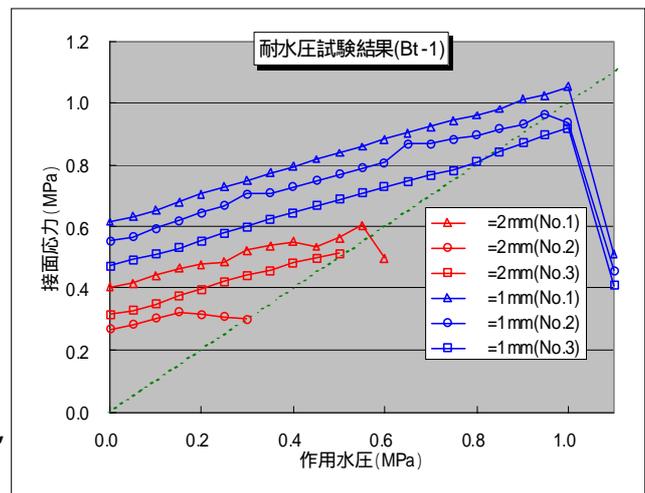


図 3 作用水圧と界面応力の関係

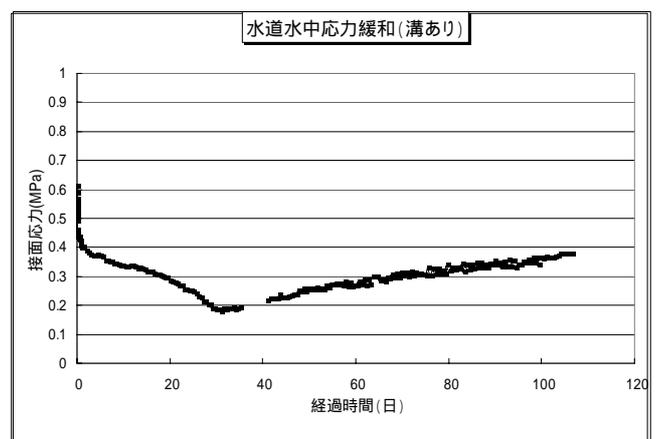


図 4 応力緩和試験結果