

Ⅲ-B202

閉塞効果による止水のメカニズム (その1)

東洋大学	正会員	加賀 宗彦
同	正会員	大坪 紘一
三井建設	正会員	福田 誠
旭電化工業		高橋 亮

1. はじめに

大深度地下工事の止水技術は地下工事の成功に大きく影響をする。そのため新素材とともに新しい止水技術が次々に開発されてる。これまでの止水方法は、継手面に定形シール材をはさみ、接面圧力を水圧より大きくして止水を保持していた。しかし、継手面が複雑になると均一な接面圧力を得ることは困難となり、止水の向上に問題が生ずる。このため、複雑な継手面でも止水能力が発揮できる不定形シール材を用いた止水工法が開発された。これらの、止水のメカニズムは、注入圧による接面応力、継手面とシール材の付着力、膨張圧力や自封作用による接面圧力の増加などによるものと考えられている。しかし、そのメカニズムは、非常に複雑でまだ明確でない。本研究室ではこれらの一端を解明するため柔らかいシール材による止水のメカニズムを検討してきた。その結果、これまでの定形型シール材では考えられなかった、閉塞効果によっても止水を維持できることがわかった。今回は、この閉塞効果のみに着目して理論的な検討を行った。結果として、断面積比(シール材と目開きの面積比)と限界止水は比例することが予測でき、安全率の算定に利用できる可能性を示唆した。

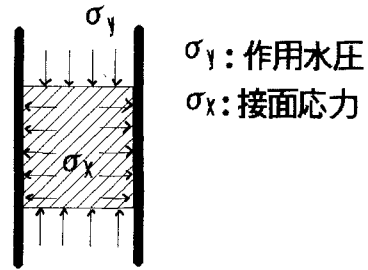


Fig. 1 作用水圧と接面応力

2. 定形シール材による止水のメカニズム

本研究で用いた柔らかいゲルシール材とこれまでの定形シール材の違いを明確にするため定形シール材の止水のメカニズムを簡単に説明する。

Fig. 1に示すように継手面に定形シール材をはさみ水圧 σ_y が作用した場合の止水条件は

$$\sigma_x > \alpha \sigma_y$$

σ_x : 作用水圧応力

σ_y : 接面応力

で表される¹⁾。また、各種の定形シールサンプルで接面圧力と、漏水時の作用水圧の関係を実験で求めた結果は、文献1)に報告されている。その関係は、次の式で表されている。

$$P_w = \beta \sigma_o$$

P_w : 漏水時の作用水圧応力

σ_o : 初期接面応力

β : 係数 (β の値は1.7~2.3でサンプルの形状で変わる)

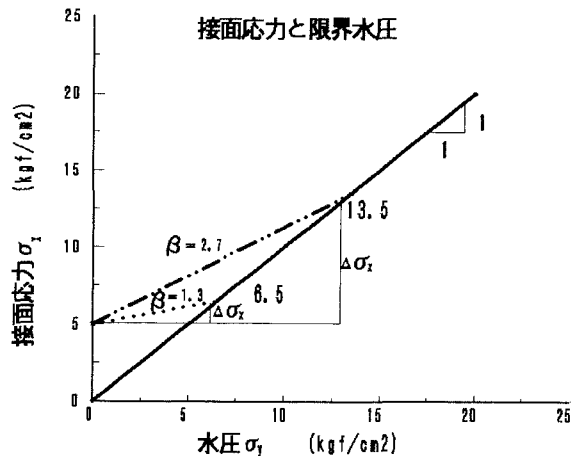


Fig. 2 漏水圧と接面応力

初期界面圧力より漏水時の水圧が大きいのは、自封効果と言われるもので、作用水圧の増加に伴って増加する界面応力である。これを作用水圧応力と界面応力で整理した一例がFig. 2である。

図は、初期界面応力が5kgf/cm²のものを示している。この状態で水圧が5kgf/cm²を越えると自封効果により界面圧力が増加する。もし完全弾性体であれば、計算によってポアソン比は0.19~0.375となる。水圧が大きくなれば界面圧力も大きくなるが、実線で示した等水圧線に接した時に漏水は始まる。したがって図中に示した $\Delta\sigma_x$ が自封効果と言われる応力である。限界止水圧は初期界面応力に比例して大きくなる。しかし、柔らかいゲルシール材では締付によって初期界面応力を大きくすることはできない。したがって、高い止水能力を発揮できないと考えられるが、後述するように条件によっては100kgf/cm²以上の止水能力を発揮する。この結果より、定形シール材と止水のメカニズムが異なるものと考えられる。

3. 不定形シール材による止水のメカニズム

不定形シール材の開発により、複雑な継手面でも確実に止水が可能になった。このメカニズムは注入圧によシール材の界面応力、継手面とシール材の付着力、膨張圧および自封作用による界面圧力の増加によって止水能力が発揮されると考えられている。しかしながら、そのメカニズムは複雑で、まだ明確にされていない。これらを解決するため、柔らかいゲルシール材を用いた止水に関する研究を行ってきた。その結果、あらたに、閉塞効果による止水機能を見いだした。本報告では、ワンステップ踏み出すため、単純に閉塞効果のみによる止水を考えたfig. 3に示すモデルで理論的に考察してみた。このモデルはシール材a-a面から水圧が作用しb-b面には目開きがある。いま、水圧がa-a面に作用した時、b-b断面にある目開きは、シールが柔らかいので、このシール材で閉塞され、止水機能が發揮される。水圧が徐々に大きくなるとやがてシール材は目開きから押し出され、この時点で止水の機能を失うものと推定できる。したがってこの考えに従えば、材料の押出しの理論が適用できる。

押出しの理論²⁾によれば、作用水圧側の押出した材料のエネルギーと目開き部分に押出された材料のエネルギーは等くなる。この考えから次の式が得られる。

$$P = \frac{Y \times V_o}{l_1 \times A_1} \log_e \frac{l_1}{L}$$

P : 作用応力 L : 押出した長さ
 Y : 材料の降伏応力 A_1 : 目開き部分に押出された材料の断面積
 l_1 : 押し出された長さ A_0 : 作用水圧側の押出した材料の断面積

最終的には $V_o = l_1 \times A_1$ $V_o = L \times A_0$ なので

$$P = Y \times \log_e \frac{A_0}{A_1}$$

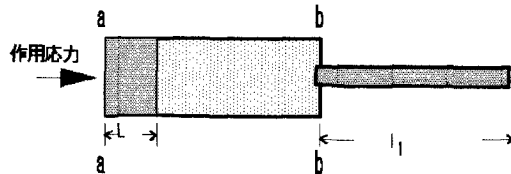


Fig. 3 作用圧力と押出し

の式が得られる。

この閉塞効果による止水のメカニズムは自封作用による止水とは全く異なる。この式によれば、止水の限界は断面積比(A_0/A_1)と限界止水圧は比例する。

これを確かめるための止水実験を行ったので、続いて、その(2)~(4)で結果を報告する。

参考文献

- 1) 小泉淳, 小林亨: 最新のシールドトンネルにおける防水技術(その2)、トンネル地下、第23巻5号、pp43-51, 1992.5
- 2) E. PARSON, N. PARKING: THE EXTRUSION of METALS, CHAPMANHALL LTD., PP.201-222, 1961