

徳山高専 工藤 洋三
徳山高専 橋本 堅一
山口大学 中川 浩二

1. まえがき

都市の再開発における解体工法や、人家の近くでの岩盤掘削工法において、静的破砕剤の使用が注目を集めている。このため破砕剤を用いた効率的な破砕設計法や施工法の確立が望まれているが、開発以来の歴史が浅いこともあって、膨張圧発現の機構やその他の力学的特性には未解明の部分がいくつか残されている。なかでも、コンクリートや岩盤中に実際に生じている膨張圧の測定は、破砕剤による岩質材料の破壊機構の解明や破砕設計法の確立という点から、最も基本的な事項であるにもかかわらず、一般的な測定法はいまだに定められていない。

膨張圧を測定する方法としては、1) 破砕剤の中に圧力測定用センサーなどを入れて測定する直接的な方法、2) モニター用鋼管などを用いて測定する間接的な方法の2種類に大別されるが、測定上多くの困難があり、一般的な測定法の確立という点からすれば、適切な方法ではないように思われる。そこで本研究では、モニター用鋼管を用いて岩質材料中に生じている膨張圧を間接的に測定する方法をとりあげ、この測定方法を用いる場合の問題点について検討を加えるものである。

モニター用鋼管を用いて膨張圧を測定する場合、考慮すべきパラメーターとして、温度、水比、破砕剤スラリーの体積、孔径、各媒体間の熱伝達率などが考えられる。これらの中でも、孔径や各媒体間の熱伝達率が膨張圧に影響を及ぼすということになれば膨張圧のモニターリングは極めて困難なものになる可能性がある。またこれらのパラメーター間には、たとえば、破砕剤スラリーの体積が増えれば温度が上昇し、さらに発熱による蒸発などによって水比が低下するといったように、相互依存関係にあるものもある。また実際の施工の場合のように破砕剤から直接岩質材料中に熱伝達が行なわれる場合と、鋼管を用いた場合のように、破砕剤から鋼管さらに空気中または液体中へといった具合に熱伝達が行なわれる場合では膨張圧の発現が変ってくる可能性もある。さらにコンクリートなどを含めて、多孔隙材料中においては、水分の材料中への浸透による水比の低下なども考慮する必要があると考えられる。

2. モニター用鋼管による膨張圧の評価

最初に、以上述べてきたパラメーターをすべて固定した場合に、破砕剤による膨張圧のような固体圧をどのように評価すべきかという点について考える。このため長さ50 cmの高圧配管用炭素鋼管(スケジュール80)を用意し、油圧により、鋼管内に膨張圧を発生

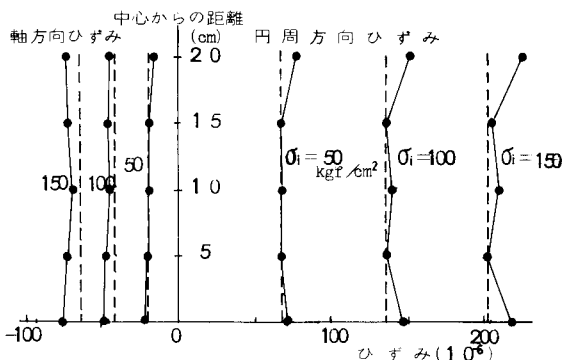


図1 油圧による鋼管表面のひずみ

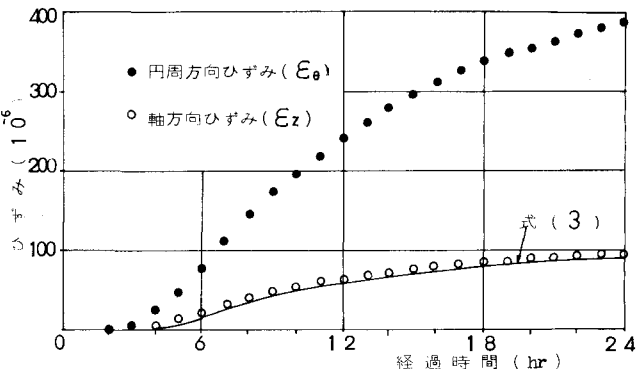


図2 破砕剤による鋼管表面のひずみの経時変化

生させる。このとき鋼管の軸方向ひずみと円周方向ひずみ ϵ_θ と軸方向ひずみ ϵ_z を測定した。測定結果を図1に示す。鋼管の内径および外径はそれぞれ、25.0mm、34.0mmであり、図中の σ_r は膨張圧で、破線は厚肉円筒理論において、平面応力状態を仮定した場合の各膨張圧に対するひずみの計算値である。図より、油圧を用いた場合のひずみ分布は、平面応力状態の解によく対応していることがわかる。次に同じ鋼管に破砕剤を充填し、このときの円周方向ひずみと軸方向ひずみの経時変化を図2に示す。これによれば、軸方向には、油圧を用いた場合とは逆に引張りひずみが生じている。これは、破砕剤と鋼管壁面の摩擦などによつて、鋼管が軸方向にも引張られるためと考えられる。そこで、破砕剤の膨張圧によつて鋼管表面に生ずるひずみを、平面応力状態での厚肉円筒理論によるひずみの解と、軸方向単独引張状態のひずみの解を重ね合わせたものと考え、破砕剤中の軸方向引張応力度が膨張圧 σ_r の大きさに等しいと仮定すれば、

$$\epsilon_\theta = \frac{2-\mu}{E} \frac{a^2 \sigma_r}{(b^2-a^2)} \dots (1) \quad \epsilon_z = \frac{(1-2\mu)}{E} \frac{a^2 \sigma_r}{b^2-a^2} \dots (2)$$

となる。ここに、 a 、 b 、 E 、 μ はそれぞれ、内径、外径、弾性係数、ポアソン比である。ここで $\mu = 0.3$ とみれば、 $\epsilon_z = 0.236 \epsilon_\theta \dots (3)$ となる。式(3)に測定された ϵ_θ の値を代入して ϵ_z を求め、結果を図2の実線で示す。これより、上述した仮定によつて ϵ_z の挙動がうまく説明されていることが認められる。さらに式(1)より、 $\sigma_r = 1.176 E \epsilon_\theta \{ (b/a)^2 - 1 \} / 2 \dots (4)$ となり、膨張圧は、円周方向のひずみのみを考慮した厚肉円筒理論より得られた値を約18%増しにすればよいことがわかる。

3. 孔径の影響

膨張圧に与える孔径の影響を調べるため、長さ50cmの前と同材質の鋼管の一端を銅板に溶接し、径の異なる3種類の鋼管について、破砕剤充填後の円周方向ひずみの変化を測定した。さらに鋼管側面に小孔を設けて孔内に熱電対を設置し、破砕剤中の温度の経時変化を求めた。鋼管は、内径がそれぞれ、14.3mm、19.4mm、25.0mmで外径がそれぞれ、21.7mm、27.2mm、34.0mmである。温度の測定結果を図3に示す。これによれば、室温を一定に保つても破砕剤中の温度は、かなり長時間にわたつて室温を上回っていることがわかる。さらに孔径の大きなものほど室温との温度差も高いことが認められる。膨張圧の経時変化を図4に示す。膨張圧は、孔径の大きいものほど早く立ち上っているが、最終的な膨張圧は小さくなっている。実際の岩質材料中での熱伝達は、鋼管の場合よりもすみやかに進行されるため、膨張圧のモニタリングに当つては、温度の経時変化が岩質材料中の経時変化に類似のもの、すなわち比較的小孔径の鋼管を使用すべきであろう。

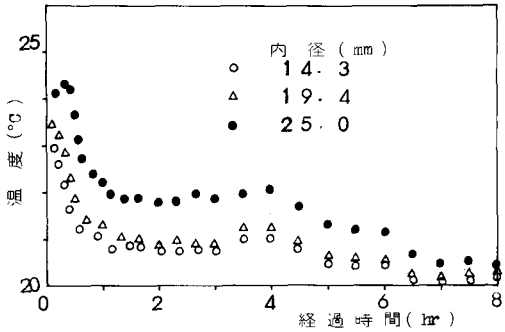


図3 破砕剤中の温度の経時変化

謝辞 本研究を遂行するに当たり、小野田セメント社よりブライスター150の提供を受けた。また徳山高等卒研生西田剛君(現勝井建設)には実験およびデータ整理に多大な協力をいただいた。

記して謝意を表します。

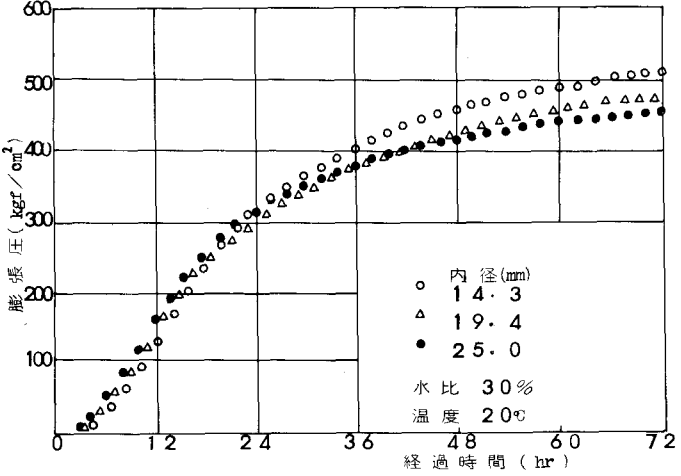


図4 膨張圧の経時変化