

京都大学 学生員 ○ 玉谷 宗一郎, 菊本 統
 京都大学 フェロー 田村 武
 京都大学 正会員 木村 亮, 岸田 潔

1. はじめに 一般にトンネル土圧理論では、トンネル掘削時の応力解放に伴って塑性化し、内空へと変位する領域のことを緩み領域と呼ぶ。このとき、緩み領域の自重は支保工に作用する荷重に概ね一致すると考えられており、緩み荷重と呼ばれている。一方、村山は降下床実験の結果から、降下床と同一の変位をする領域(一次領域)は正三角形に外接するアーチ形状になること、降下床に作用する荷重は一次領域の自重で近似できることを明らかにした¹⁾。本稿は、実験結果に基づいて、a) 土被りと一次領域の大きさ・形状の関係、b) 一次領域と緩み荷重との対応、c) 一次領域の形状、緩み高さ及び三角形外接アーチ形状との対応、を詳細に再検討し、トンネル土圧の推定手法について考察を加えるものである。

2. 2次元降下床実験²⁾ 実験装置を図-1に示す。地山材料には、2種の直径のアルミ棒を混合した積層体(単位体積重量 $\gamma = 2.1 \text{ kN/m}^3$, 内部摩擦角 $\phi = 28^\circ$, 粘着力 $c = 0 \text{ MPa}$)を用いた。本研究では、地山底部に設けた降下床(幅 $D = 100 \text{ mm}$)を 2.00 mm まで下降させ、所定の下降量で降下床及び周辺地山での鉛直土圧分布と地表面沈下形状を計測した。実験は、土被り比 $H/D = 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 2.00, 4.00$ の8パターンについて実施した。なお、 H は土被りである。

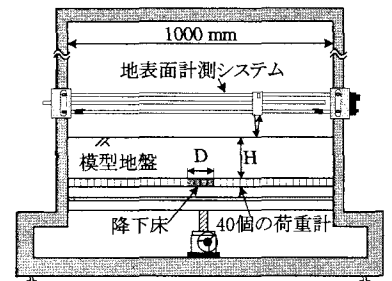


図-1 実験装置

地山内部の変位分布は、降下床直上付近の地山内にターゲットを貼り付けたアルミ棒を挿入し、デジタルカメラで撮影した降下床下降前と下降後の写真を解析(画像補正・座標変換)することで得た。変位分布の計測は、 $H/D = 0.50, 1.00, 1.50, 2.00$ の4パターンについてのみ実施した。

3. 実験結果 3.1 一次領域 図-2に降下床

2.00 mm 下降時の地山内部の変位分布を示す。 $H/D = 0.50$ では、全ての変位等高線が降下床端部からほぼ垂直に発達して地表面に達し、地山が陥没するように変位する。一方、 $H/D = 1.00$ 以上では降下床直上に変位等高線がアーチ状に分布することから、降下床の下降による影響が地山により抑制されている。

ところで、一次領域は降下床と同一の変位をする領域と定義されている¹⁾が、本実験では降下床下降量と同一の変位等高線(2.00 mm)は確認できなかった。そこで、変位量が最大の等高線(1.75 mm)を一次領域とみなして、その大きさ・形状を比較する。図-3に各土被りにおける一次領域の比較を示す。同図より、一次領域は、 $H/D = 1.00$ の場合に若干大きくなるものの、土被りによらずほぼ同様の形状となる。また、一次領域の高さは $50 \sim 76 \text{ mm}(0.50D \sim 0.76D)$ となる。

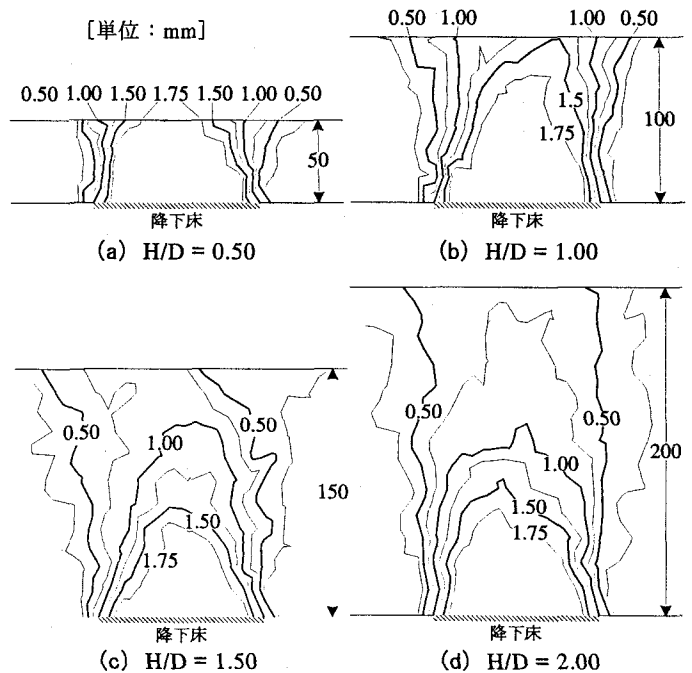


図-2 地山内部の変位分布

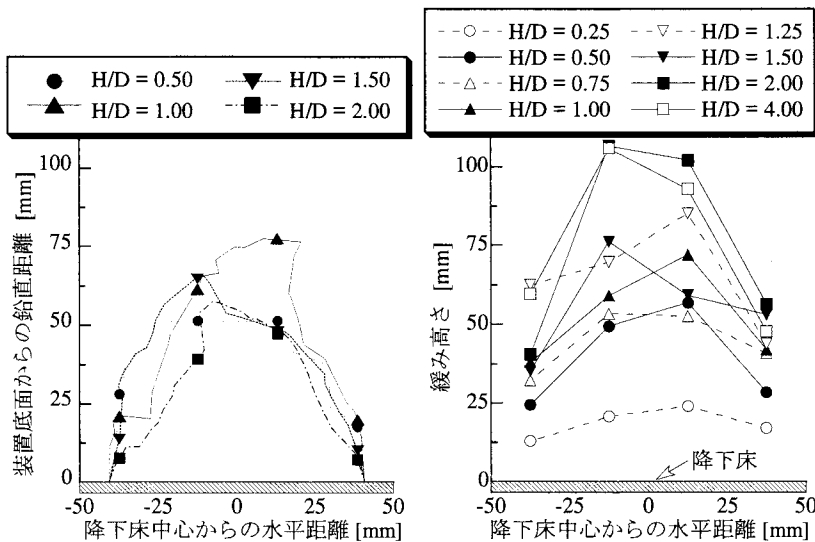


図-3 一次領域

図-4 緩み高さ

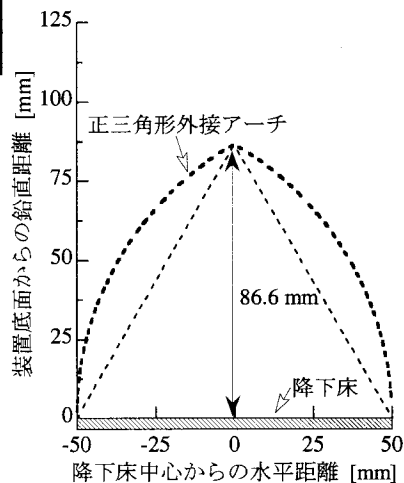


図-5 三角形外接アーチ¹⁾

3.2 緩み高さ 次に、緩み高さについて考察を加える。緩み高さは、実験で計測した降下床上の荷重分布を地山材料の単位体積重量で除して求めることができる。なお、緩み高さを土被りHと比較することにより、土被り高さ(実験初期荷重)からの変化を把握することができる。図-4に、降下床2.00mm下降時の緩み高さを土被りごとに示す。同図より、緩み高さは各パターンにおける土被りHを概ね下回る。また、緩み高さは降下床端部付近よりも降下床中心付近で大きい。土被りについて比較すると、土被りが大きくなるほど緩み高さは大きくなる傾向を示すが、 $H/D = 0.50$ 以上ではその差異は小さく、特に $H/D = 2.00$ 及び 4.00 での緩み高さはほぼ同じ値となる。このことから、 $H/D = 2.00$ 以上では、緩み高さがほぼ一定となるものと考えられる。

3.3 三角形外接アーチ¹⁾ 村山が一次領域の近似形状として提案した正三角形に外接するアーチ¹⁾を図-5に示す。アーチは、降下床幅を一辺とする正三角形に外接する二つの円弧で構成される。なお、アーチの高さは86.6mmである。

3.4 一次領域、緩み高さと三角形外接アーチの比較 図-3~図-5に示した一次領域、緩み高さ及び三角形外接アーチの比較を図-6に示す。同図は、一次領域及び三角形外接アーチの最大高さと緩み高さを、土被り比 H/D を横軸として比較したものである。この図より以下の知見を得る。

- (I) 一次領域の高さは土被りによって若干異なるが、 $H/D = 0.50 \sim 2.00$ では $0.50 \sim 0.76D$ とほぼ同じ値を示す。しかしながら、 $H/D = 4.00$ についても今後調査を行い、土被りとの関係を明らかにする必要がある。
- (II) 一次領域の高さは、 $H/D = 0.5, 1.0$ では緩み高さに一致するが、 $H/D = 1.50, 2.00$ では緩み高さを下回る。よって本実験に関して言えば、一次領域の形状が推定できたとしても緩み高さを予測できるとは言えない。
- (III) 三角形外接アーチの高さは一次領域の高さを上回る。また、緩み高さは $H/D = 2.00$ 以上でほぼ一定値となるが、アーチの高さはそれを大きく下回る。

4.まとめ 本実験の結果に関して言えば、一次領域の高さと緩み高さ及び三角形外接アーチの高さに明確な相関関係を見出すことはできない。よって、一次領域の高さを仮定することでトンネル土圧を推定することが可能とは言えない。

参考文献 1) 村山：砂層内局部沈下部にかかる垂直土圧，京都大学防災研究所年報第11号B，pp.123-138。
2) 足立ら：落とし戸実験における土圧分布，第29回土質工学研究発表会講演集，pp.1989-1992。

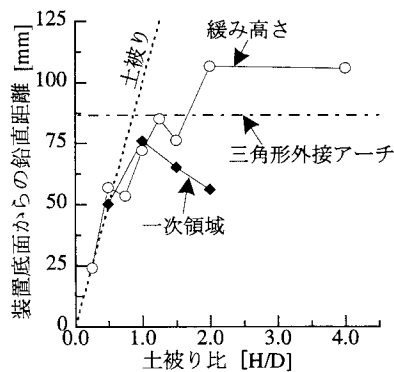


図-6 一次領域と緩み高さ及び三角形外接アーチの比較