

4. 載荷形状による補正

これまで述べた通り、地盤反力係数には載荷幅の依存性が考慮されている。一方、基礎や開削トンネルでは矩形形状での載荷であり、平板載荷試験や平板載荷状態の弾性理論を基本とした地盤反力係数の適用と合致していると考えられる。しかし、前節のようにトンネルの一部分が載荷面となる場合にはその形状による影響も考えられる。そこで、載荷面の載荷方向に対する形状について、FEM解析により試算した。図-4のように、載荷幅Bを一定とした異なる形状に対して、単位分布荷重pを載荷した時の変位δを弾性FEM解析で求め、地盤反力係数 $k=p/\delta$ を算定した。

算定された地盤反力係数を平板の場合を1とした各形状について示したものを図-5に示す。これによると、載荷幅Bを一定とした場合、いかなるポアソン比においても平板の地盤反力係数が小さく算定されている。すなわち、載荷幅に着目する場合、載荷面の載荷方向の形状を考慮せず無視することは、地盤反力係数を小さく算定することとなり、構造物に対しては安全側であったことが分かる。一方、前節の試算のように円形覆工の一部が小さい曲率で載荷面となる場合、通常地山のポアソン比 $\nu=0.33$ 程度では1.2倍の地盤反力係数となっていることが分かる。仮にこの考え方に拠れば、載荷幅に加え載荷形状を考慮すると、トンネル外径を載荷幅として算出した基本値 $k=82.8\text{MN/m}^3$ に対して、解析上の載荷幅を考慮して算出した値 $k=168\text{MN/m}^3$ のさらに形状の効果1.2倍を考慮でき、基本値の2.4倍である $k=201\text{MN/m}^3$ の地盤反力係数が算出されることとなる。

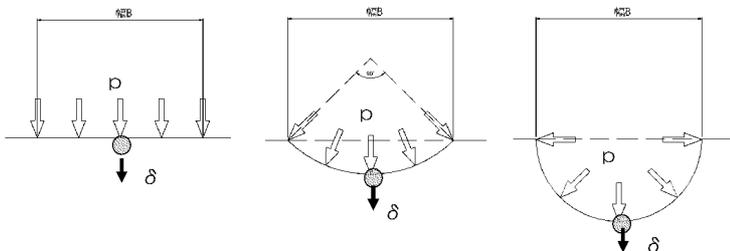


図-4 地盤反力係数の載荷形状による試算

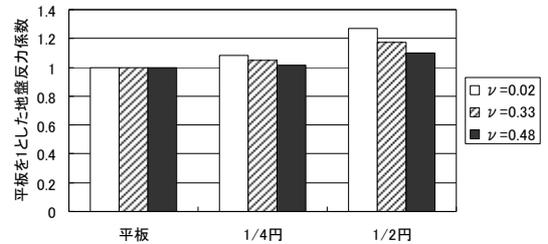


図-5 地盤反力係数と載荷形状

5. 地盤反力係数の補正とその影響試算結果

基本値の地盤反力係数に加え、これまで述べた載荷幅、載荷形状で補正した地盤反力係数による結果を必要厚や配筋とともに図-6に示す。載荷幅による補正の際は、一旦、基本値の地盤反力係数で変形状態を確認し載荷幅を算出するという繰り返しの計算が必要でありやや煩雑である。図-6によると、基本値の結果に対して、地盤反力係数を補正していくと、隅角部の曲げモーメントが軽減され、必要となる部材厚が軽減されていることが分かる。すなわち、地盤反力係数は、載荷幅や載荷形状に依存するものと考えられるが、それらを考慮することにより覆工設計が合理的となることが分かった。なお、今回は、極めて限られた状態での試算であり、荷重状態や覆工形状等により結果は異なることに留意する必要がある。

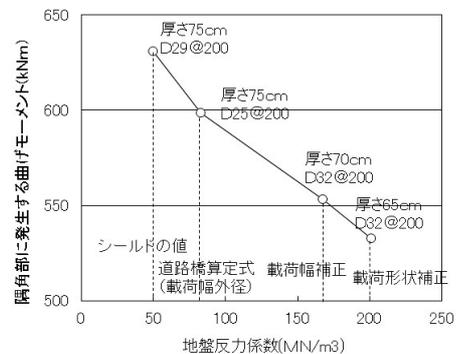


図-6 地盤反力係数の試算結果

6. まとめ

本報告では、山岳トンネルの二次覆工に対して、荷重を考慮した骨組み構造解析の実施する際の地盤反力係数に着目して試算を行った。これによると、載荷幅や載荷形状を考慮することで、二次覆工設計が合理的なものとなる可能性があることが分かった。筆者の一人は、これまで、解析手法や荷重の概念、地盤とトンネル構造物の相互作用の考え方について考察してきた³⁾。今後、トンネルの設計においては、これらのことに同時に地盤係数についてもその位置づけや工学的な意味を考えていくことが望ましいと考えられる。

参考文献：1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解析 IV下部構造編

2) (財) 鉄道総研：鉄道構造物等設計標準・同解説 都市部山岳工法編

3) 真下, 砂金, 木谷：山岳トンネルの構造解析手法に関する一考察, トンネル工学報告集 No. 15