

信州大学工学部	正員	○ 長	尚
日本道路公団	正員	長友	成樹
建設省土木研究所	正員	村上	良丸

1. よそがき

トンネルに用いられる鋼アーチ支保工の解析法ないしは設計法はまば確立されていない。その主因としては、地山のゆるみによって発生する荷重（主働荷重）の推定が非常に困難であること、この荷重を受ける支保工が力学的にどのような構造系として考えるべきか不明であること、および支保工の変位を地山が拘束することによって生れる荷重（受働荷重）の判定が困難であることなどが挙げられる。ここではこれらの問題点のうち、鋼アーチ支保工の力学的構造の問題と、受働土圧の発生の問題とについて、実験大モデルの載荷試験（長友、村上担当）とともに理論的解析（長担当）を行なって現在までに得られた結果を報告する。

2. 試験装置

支保工の形状寸法およびくさび角の位置を図-1に示す。

試験装置の主要部分は、内径1.3mの鉄筋コンクリート製の反力枠と10名の載荷用油圧ジャッキ（能力50t）およびこれを制御する装置ならびに油圧ポンプから成っている。荷重制御装置は、載荷用ジャッキに、くさび角荷重に相当する力を発生させるために、各ジャッキの荷重を独立に制御できる制御盤と、これに設定された荷重を同時に各ジャッキに伝達動作させる一斉載荷装置の2部分から成っている。

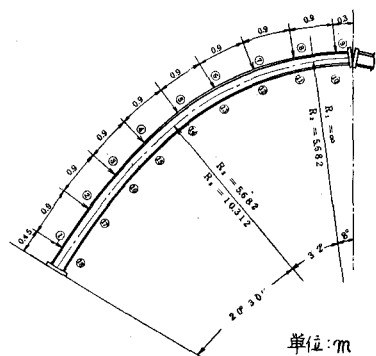


図-1

3. 解析の概要

解析に当って次の仮定を設ける。(a) 支保工の支脚は水平、垂直および回転変位に対してそれぞれ一定の反力係数 t_H , t_V , t_θ を有する。(b) 支保工のフラウンは通常上縁を少し開き、下縁を突き合わせから、突き合わせ處すなわち軸線より鋼材の高さの約半分だけ下の處をヒンジと考える。(c) 地山と支保工の間に挿入されるくさびは通常せん断抵抗は非常に小さいから、荷重の作用方向は支保工の軸線の法線方向とする。(d) 主働荷重と受働荷重とが作用し、支保工が山側に変位した量に比例して受働荷重は発生する。この比例定数 (K) をくさび係数と名づける。

(a), (b) の仮定により鋼アーチ支保工は、弾性的に支脚が拘束された、フラウンの突き合わせ處をヒンジのアーチ構造として計算する。この計算法は筆者（長）が先に発表した方法⁽¹⁾による。

(d) の仮定に基づいた受働荷重の発生は次のように取り扱う。まず以下に用いる記号を示すと、
 A : 主働荷重。 P : 受働荷重。 M_j , N_j , V_j ,

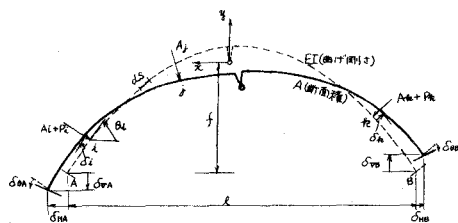


図-2

$H_j, \bar{\delta}_{ij}$: j 点 に単位荷重が作用したときの任意点のモーメント, 軸力, 支梁の垂直反力, 水平反力, i 点の変位。 $\bar{M}_i, \bar{N}_i$: i 点に山側に向って単位荷重が作用したときの任意点のモーメントおよび軸力。 A_v, A_h : 支梁の垂直, 水平方向投影面積。 δ : 支保工の法線方向の変位, 山側正。

$$P_i = K_i \delta_i \quad (\text{ただし } \delta_i > 0) \quad (1) \quad \delta_i = \sum_j (A_j + P_j) \bar{\delta}_{ij} \quad (2) \quad \text{の両式から,}$$

$$-\frac{P_i}{K_i} + \sum_j P_j \bar{\delta}_{ij} = \sum_j A_j \bar{\delta}_{ij} \quad (3) \quad \text{を得る。この式(3)は山側に変位しにくさの数の数だけあり,}$$

受働荷重 P_i も同数であるから, これらを連立に解けば受働荷重 P_i が求まる。ただし山側に変位するくさび点の位置およびその変位量は予の予測できないから, 計算は非線型な繰り返し演算となる。

なお式(3)中の $\bar{\delta}_{ij}$ は支梁の変位も考慮に入れて, 次のようになる。

$$\bar{\delta}_{ij} = \left\{ \frac{M_i \bar{M}_i}{EI} ds + \left(\frac{N_i \bar{N}_i}{EA} ds - \cos \theta_i \left[-\frac{V_{aj}}{f_{av} A_{vL}} \left(\frac{l}{2} - x \right) + \frac{V_{aj}}{f_{av} A_{vL}} \left(\frac{l}{2} + x \right) + \frac{H_{aj}}{2 f_{ah} A_{hL}} \left(-\frac{l}{2} - |x| \right) + \frac{H_{aj}}{2 f_{ah} A_{hL}} \left(\frac{l}{2} - |x| \right) \right] \right. \right. \\ \left. \left. - \sin \theta_i \left\{ \frac{H_{aj}}{f_{ah} A_{hL}} \left(\frac{l}{2} - x \right) - \frac{H_{aj}}{f_{ah} A_{hL}} \left(\frac{l}{2} + x \right) - \frac{2 V_{aj} f}{f_{av} A_{vL} l} \left(\frac{l}{2} - |x| \right) - \frac{2 V_{aj} f}{f_{av} A_{vL} l} \left(\frac{l}{2} - |x| \right) \right\} \right. \right\} \quad (4)$$

4. 結果および考察

試験および計算の結果の若干例について示す。

図-3は⑥点に3本の荷重をかけ他のくさび点は $K=29 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$ のくさびで拘束した場合の上縁の応力について図示したものである。図-4は⑦～

⑩点に荷重をかけるとき①～④のくさび点に発生する受働荷重の模様を, 実測値および理論値(反力係数 $500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$)について図示したものである。

図-5はスパンの $\frac{3}{4}$ 点に3, 左支点に1, 右支点に2の割合で分布した偏荷重が作用したとき, 支保工に発生するモーメントについての理論値を示したものである。

このような実験的, 理論的検討から現在次のような結論を得ている。(a) 支保工の構造は, 支点条件を適当に選んで, 本文で述べたような構造とすれば, 応力などの実測値と理論値は比較的よく一致する。(b) Proctor & White は支保工にほとんど曲げモーメントが発生しないように受働荷重が発生する⁽²⁾としているが, そのような都合の悪い受働荷重は, 実験結果および理論計算結果からは認められず, かなりの曲げモーメントが残る。

今後はさらに検討を進めて, 実際の設計荷重の形および設計法を確立したいと念願している。

参考文献 (1)長尚: アーチの応力に及ぼす基礎地盤の変形の影響, 第22回土木学会学術講演概要

(2) Proctor & White: "Rock Tunneling with Steel Support" 1946

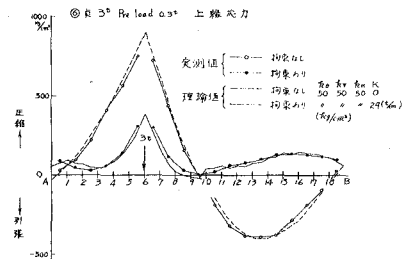


図-3

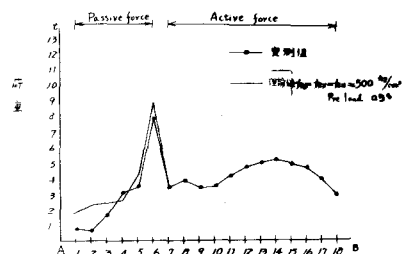


図-4

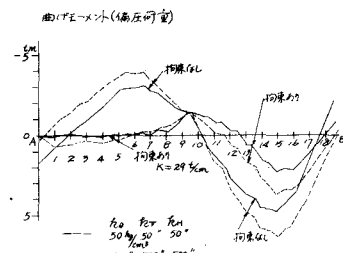


図-5