

## 既設トンネル内における探針調査法の開発

佐藤工業（株）

同 上

同 上

正○瀬谷正巳

武井秀永

樋口賢一郎

正 富田浩士

植田大輔

正 辻野修一

## 1. はじめに

既設のトンネルのリニューアルにおいて補修計画を効率的に策定するためには、構造物自体の調査・診断を行うだけでなく、構造物背面地盤の緩み領域あるいは空洞についても把握しておくことが望ましい。その探査手法としては地中レーダーを用いた探査などもあるが、より精度の高い調査を行うために直接地盤の状況を把握することの出来る静的貫入試験を計画した。ただし、既往のコーン貫入試験では先端コーンの径・形状から十分な貫入力の確保・貫入時の止水性などが懸念された。そのためトンネル内でも使用できるように油圧ジャッキと径の小さい貫入ロッドを用いた小型の探針試験装置を作成するとともに、模型地盤を用いた実験を行うことで試験装置の性能を確認した。

## 2. 探針試験装置

今回作成した試験装置は、油圧ジャッキによって貫入ロッドを地盤中に挿入し、ロッドの貫入および引き抜き時に油圧と貫入量（ストローク）を記録して、その値から地盤の状況を把握するというものである。装置の概念図を図-1、先端コーンの形状を図-2に示す。

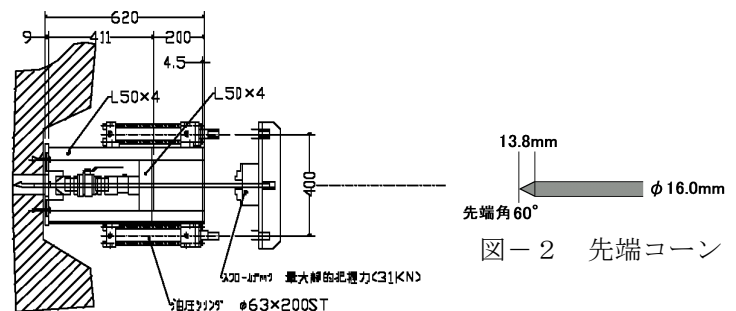


図-1 探針試験装置

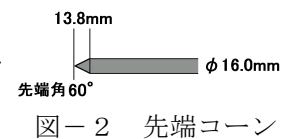


図-2 先端コーン

## 3. 模型地盤を用いた実験

## 3.1 実験方法

図-3に示す小型円筒土槽を用いて、相対密度 $D_r$ の異なる3種類の地盤（緩詰め・中詰め・密詰め）を作成した。試料土には、調査を予定している現場の土質と類似している豊浦標準砂を用いた。

この円筒土槽は、土槽内周面および底面に内張りしてあるゴム製メンブレンを介して水平方向と鉛直方向に独立した拘束圧をかけることができる。そこで、作成した模型地盤に対して所定の拘束圧をかけて条件の異なる模型地盤を作成することにした。こうして作成した条件（相対密度・拘束圧）の異なる模型地盤に対して油圧ジャッキを用いてロッドの貫入・引抜きを行い、その際の油圧、ストロークを計測した。この実験で作成した模型地盤は表-1の通りである。

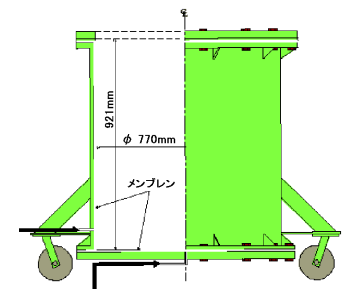


図-3 土槽

表-1 作成した模型地盤

	初期状態 (拘束圧0)	水平拘束圧 $\sigma_h$ (※)		
		50kPa	100kPa	150kPa
	$D_r$ (%)	$D_r$ (%)	$D_r$ (%)	$D_r$ (%)
緩詰め	42.0	43.3	45.5	47.6
中詰め	70.0	70.9	71.5	71.9
密詰め	89.3	89.9	90.1	90.2

※ 鉛直拘束圧  $\sigma_v$  は 100kPa で一定

## 3.2 実験結果

## (1) 貫入抵抗力

今回の実験では、各模型地盤ごとの貫入力 $P$ と引抜き抵抗力 $D$ が得られた。これらの力は、次式のように複数の力の合成したものと考えられる。

$$P (\text{貫入力}) = F (\text{周面摩擦力}) + Q (\text{貫入抵抗力}) + a (\text{機械ロス}) \dots \text{式1}$$

$$D (\text{引抜き抵抗力}) = F (\text{周面摩擦力}) + b (\text{機械ロス}) \dots \text{式2}$$

したがって地盤の状態を最もよく反映する貫入抵抗力 $Q$ を求めるためには、貫入力 $P$ から周面摩擦力 $F$ と機械ロス $a$ を除く必要がある。このうち機械ロス $a$ ,  $b$ は、ロッドを無負荷の状態（空中）で伸び縮みさせた時の油圧と等しいので、式1, 2より貫入抵抗力 $Q$ は以下の式で求めることができる。

$$Q = P - a - (D - b) \dots \text{式3}$$

ただし、この算定式だとデータ整理に手間がかかり、すぐには貫入抵抗力 $Q$ が求まらない欠点がある。

## (2) 貫入抵抗力とN値との相関

安田他<sup>1)</sup>は、今回の実験で用いたのと同様の土槽を用いて相対密度-N値の関係について研究を行い、N値が相対密度および側圧係数 ( $K_0 = \text{水平拘束圧 } \sigma_h / \text{鉛直拘束圧 } \sigma_v$ ) と関連性の高いことを示した。

キーワード：トンネル, 探針, 貫入調査, 貫入試験, 緩み領域, N値

連絡先：〒243-0211 神奈川県厚木市三田 47-3 TEL：046-241-2172 FAX：046-242-9420

その際に提案された関連性に基づき、今回実験を行った模型地盤のN値を推定し、表-2に示す。

表-2 模型地盤のN値

	側圧係数 $K_0 (= \sigma_h / \sigma_v)$		
	0.5	1.0	1.5
	N値	N値	N値
緩詰め	1.2	3.2	—
中詰め	5.7	9.4	13.5
密詰め	16.8	20.2	24.6

さらに、式3を使って求めた各模型地盤ごとの貫入抵抗力Qの値（深度1cmごとに計測した値の平均）と模型地盤のN値との相関を図-4に示す。この図から分かるように、模型地盤の貫入抵抗力QとN値は比較的高い相関を示しており、この試験装置で求めた貫入抵抗力Qから地盤のN値を推定できることが分かった。図-4の結果から、貫入抵抗力Qと地盤のN値との関係は以下に示す式で表されることが考えられる。

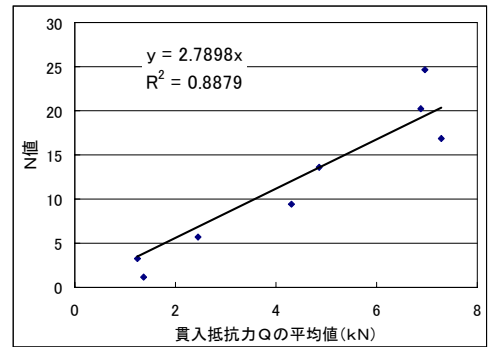


図-4 貫入抵抗力とN値

$$N = \alpha Q \dots \text{式4}$$

ここで、 $\alpha$ ：定数（今回の実験では  $\alpha=2.7898$ ）

(3) 周面摩擦力

周面摩擦力Fは一般に次の式で表される。

$$F = f \times \pi d \times L \dots \text{式5}$$

ここで、 $f$ ：摩擦係数（ $\text{kN/cm}^2$ ）， $d$ ：ロッドの直径（ $\text{cm}$ ）， $L$ ：ロッド先端の深度（ $\text{cm}$ ）

今回の実験で求めた模型地盤別の周面摩擦力Fを図-5に、そこから式3に従って求めた模型地盤別の摩擦係数fを表-3に示す。そして、摩擦係数fと地盤のN値との相関を図-6に示す。

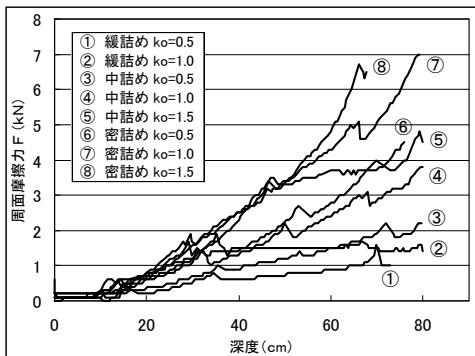


図-5 周面摩擦力

表-3 模型地盤の摩擦係数

地盤種別	摩擦係数
緩詰め $k_0=0.5$	0.00306
緩詰め $k_0=1.0$	0.00509
中詰め $k_0=0.5$	0.00499
中詰め $k_0=1.0$	0.00806
中詰め $k_0=1.5$	0.00965
密詰め $k_0=0.5$	0.01156
密詰め $k_0=1.0$	0.01434
密詰め $k_0=1.5$	0.01466

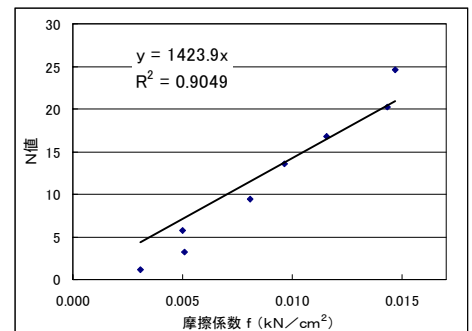


図-6 摩擦係数とN値

図-6から、摩擦係数fと地盤のN値とは比較的高い相関を示しており、地盤のN値から摩擦係数fを推定できることが分かった。その関係は以下に示す式で表されることが考えられる。

$$N = \beta f \dots \text{式6}$$

ここで、 $\beta$ ：定数（今回の実験では  $\beta=1423.9$ ）

また、式3, 4, 5, 6より次の式が成り立つ。

$$Q = (P - a) \left( \frac{\beta}{\beta + \alpha \pi d L} \right)$$

この式から、貫入力Pだけ計測すれば、引抜き抵抗力Dを計測しなくても貫入抵抗力Qを求められることが分かった。この算定式を用いることで調査の際、速やかに結果が判明し、より敏速な調査が可能となる。

4. まとめ

今回、既設のトンネル内で構造物の背面空洞を調査するための探針試験装置を開発し、模型地盤を使ってその性能を検証した。その結果、貫入力の値を計測することで地盤の状態を十分に把握できることが分かった。しかし、今回検証を行ったのは特定の土質についてのみであり、今後は貫入力とN値との関連性についてさらに研究を進めることで、調査の精度・適用性をさらに向上させたいと考えている。

参考文献

1) 安田進・原田健二・荒井大介・風見健太郎・佐藤貴紀・杉本佳彦：飽和地盤におけるN値と密度、静止土圧の関係、第35回地盤工学研究発表会講演集, pp.1435-1436, 2000