

トンネル覆工内応力計の検定

京都大学工学部	正 員	高 昭 治 郎
京都大学工学部	正 員	谷 本 親 伯
京都大学工学部	学 生 員	西 原 晃
京都大学工学部	学 生 員	〇 刈 谷 敬 三

1. 検定の必要性と応力計

最近の困難な条件下でのトンネルの施工で得られた経験から判断すると、一次覆工にかなりの地圧が作用していると思われることが多い。また、急速に着目される様になったいわゆる新オーストリア式トンネル工法(NATM)においても、切羽に接近して打設された吹付けコンクリートは重要な支保作用を持つ。そこで、トンネルの設計施工に関する研究を進める上で、覆工内部に発生する応力を知るため、コンクリート打設時に応力計を埋設し、これを測定する必要性が生じた。使用した応力計が正しく覆工内部の変化を感知しているかどうかは現場計測と遂行する上で極めて重要であるため、ここに比較的良好に用いられている2種の応力計を取り上げ、事前にモルタルおよび石膏のブロックに埋設し、材料試験機を使用して基準となる圧力に対する指示値を検定した。一つは、西独製グレーツェル式応力計(以下G型と表示)で、地味OYO製トータルプレッシャーセル(以下O型と表示)である。それぞれの構造を模式的に示すと図-1および図-2のようである。前者は、欧州におけるNATMの現場で多数使用されており、外部より油圧を与え、セル内部に封入された水銀の圧力と等しくなった時点で圧力平衡弁が開き、新たに送り込んだ油がそのまま戻ってくる構造でいわば機械式の応力計である。後者は、土質材料を対象に開発されてきたもので、岩盤材料やコンクリート用に改良されている。その構造は、密閉したセル内部に封入された脱気シリコンオイルの圧力変化を圧力変換器により電気信号として取り出す、いわば電気式の応力計である。

2. 検定方法および結果

上述の2種の応力計をそれぞれ1個づつ $30 \times 30 \times 20 \text{ cm}$

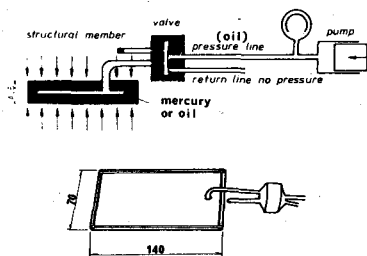


図-1 G型プレッシャーセル

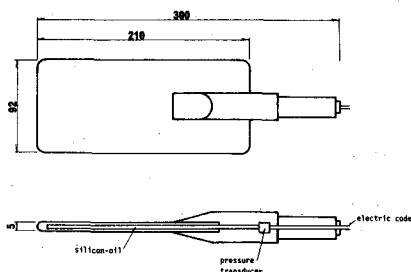


図-2 O型プレッシャーセル

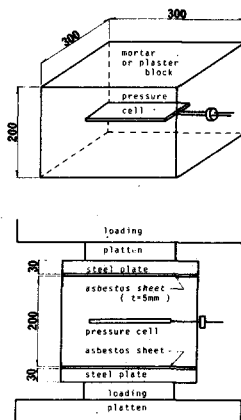


図-3 試験方法

のモルタルおよび石膏のブロックの中央に埋設し、図-3に示す方法で材料試験機により、1/分の載荷・除荷速度にて荷重を加え、載荷・除荷サイクルの最大荷重を10, 20, 30, 40, 50 tとして繰り返し、応力計の応答を測定した。なお、使用したモルタルおよび石膏ブロックの材料特性は次のようである。

モルタル: $E = 1.79 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, $\nu = 0.23$, $\delta_u = 123 \text{ kg/cm}^2$

石膏: $E = 4.10 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$, $\nu = 0.27$, $\delta_u = 70 \text{ kg/cm}^2$

測定結果を図-4および図-5に示す。全般に、G型の方がばらつきが少なく規準値(q)と指示値(p)がより一致しているが、繰り返し荷重を受けると低圧領域で指示値が低い値を示し、高圧領域(40 kg/cm^2 以上)では若干高い値を示す。O型については、繰り返し荷重により指示値が規準値に漸近し、 40 kg/cm^2 以上のレベルで p と q が近い値を示す。しかしながら、実際のトンネル覆工内部に埋設されたセルは繰り返し荷重を受けることはなく、吹付コンクリートを支保材と考える場合、 20 kg/cm^2 以下では何ら応答がないのは問題が残される。今回与えた最大荷重サイクルに対する指示誤差を $(q-p)/p$ として百分率で表わしたものが表-1である。

p と q の相違の理由として次の事が推定される。

(1)セルの剛性が測定対象物に適應していない。(2)ブロック材料硬化後セルの周囲に空隙が残され、接触不良となる。

トンネルのように測定作業が困難な現場では、測定の手間が少なく、読み取り精度は高くとも正しく現象に追従する計器が望まれ、欧州のトンネル現場では、機械式測定が主に採用されている様子である。一方、電氣的測定は、長期測定や水分の多い現場では電気のドリフトを生ずるが測定対象に対し適切な計器を採用すれば測定操作が簡単で、多次測定に対し集中管理や自動記録がでるの利便が挙げられる。

表-1 フレジャーセル指示誤差
(5回繰返し載荷、0-50t時)

O 型

p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	error (%)
0.00	1.94	-65.0
5.55	6.60	-40.6
11.11	12.12	-27.3
16.67	17.72	-20.3
22.22	22.95	-17.4
27.78	28.69	-13.9
33.33	34.29	-11.8
38.89	39.95	-10.1
44.44	45.76	-8.5
50.00	51.57	-7.2
55.56	57.05	-7.9
61.11	62.96	-5.6
66.67	68.94	-5.0
72.22	73.99	-4.0
77.78	78.90	-3.2
83.33	82.73	-2.2
88.89	86.71	0.2
94.44	91.62	4.6
100.00	96.60	18.9

G 型

p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	error (%)
0.00	0.92	-63.3
5.56	2.04	-42.1
11.11	4.37	-25.5
16.67	9.38	-12.8
22.22	16.51	-4.6
27.78	26.51	-0.6
33.33	33.14	-4.9
38.89	40.79	-6.7
44.44	47.42	-10.1
50.00	55.07	-10.1
55.56	61.18	-9.1
61.11	67.05	-6.7
66.67	72.96	-1.0
72.22	78.94	-3.6
77.78	84.90	-8.2
83.33	90.84	-22.0
88.89	96.71	-29.6
94.44	102.62	-53.2
100.00	108.54	-74.3

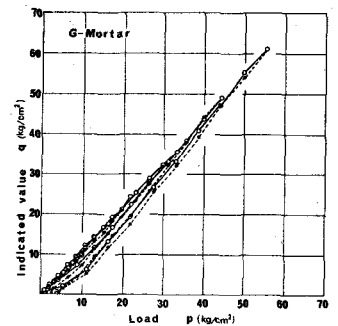


図-4(a) G型試験結果(モルタル)

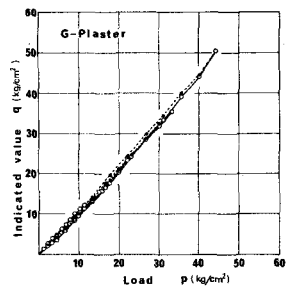


図-4(b) G型試験結果(石膏)

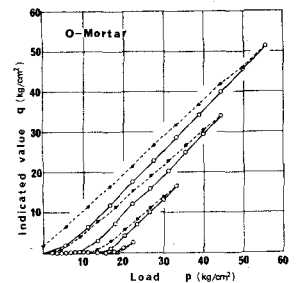


図-5(a) O型試験結果(モルタル)

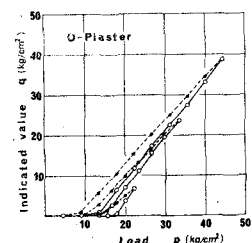


図-5(b) O型試験結果(石膏)