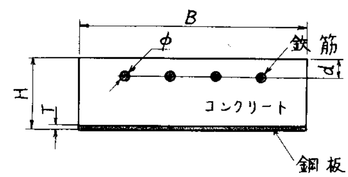
I-66　シールドセグメントの自動設計

石川島播磨重工業　正員　○結城皓昿
〃　〃　安藤紘三

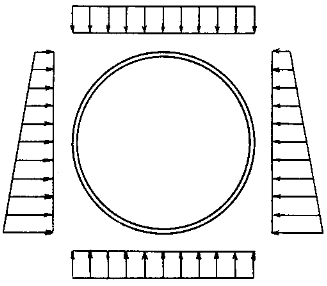
○まえがき　本報は、シールドセグメントの覆工に用いられるリングで特に図－1に示すような断面を有する合成セグメントの設計を計算機によって自動的に行うプログラムの概要について述べる。

一般に、実際の設計に採用されるDesign Variableは連続的なものでなく、たとえば、鋼板の板厚のようにdiscreteなものを使用する。ここでは、このようなdiscreteなDesign Variableを用いて最適断面をもとめようとするものである。なお、ここでいう最適断面とは与えられた荷重条件のもとで各部の応力が許容応力いっぱいになる断面を意味しており、したがって、最適断面は唯一とは限らない。



図－1

シールドトンネルの覆工は、通常、数個の円弧状のセグメントからリングが組立てられ、これに周囲の地山から複雑な荷重が作用すると考えられるが、ここでは、一般に採用されている設計方法に基づく、すなわち、リングは継手のない剛性一様なリングとし、リングに作用する外力は、図－2のように分布するものと仮定しているが、ここでは、荷重についての詳細は省略する。



図－2

○設計変数　図－1のような断面のDesign Variableは

B：セグメント巾　　T：鋼板の板厚
H：セグメント厚　　σ_{ca}：コンクリートの許容応力
d：鉄筋かぶり　　σ_{ba}：鉄筋の許容応力
φ：鉄筋径　　σ_{ta}：鋼板の許容応力
N：鉄筋の本数　　n：鋼とコンクリートのヤング率比

の10ケあるが、dを一定とし、B, N, σ_{ca}, σ_{ba}, σ_{ta}, n をInput Dataとして与えると、H, ϕ, T の3ケが変数として残り、結局この3ケの中で各部の応力がそれに対応する許容応力いっぱいになる組合せを求める問題となる。

○DiscreteなDesign Variableの扱い　3ケの変数H, φ, Tは、$H(i_c)$, $(i_c=1, N_c)$, $\phi(i_b)$, $(i_b=1, N_b)$, $T(i_t)$, $(i_t=1, N_t)$とし、表－1のように夫々の変数にdiscreteな値を定義しておく。

i	$H(i)$	$\phi(i)$	$T(i)$
1	100	6	1.6
2	120	9	2.3
3	150	13	3.2
4	170	16	4.5
5	200	19	6
6	220	22	9
7	250	25	13
8	300	28	
9	350		
10	400		
11	450		

表－1

そして、i_c, i_b, i_t の3ケの正のInteger Variableを用いて最適計算を行うことにする。

○Feasible Region　この問題におけるFeasible Regionは、次に示すような、変数H, φ, Tに関するものと、応力に関するものである。

$H(1) \leq H \leq H(N_c) \longrightarrow 1 \leq i_c \leq N_c$　①

$$\phi(1) \leq \phi \leq \phi(N_b) \longrightarrow 1 \leq i_b \leq N_b \qquad ②$$

$$T(1) \leq T \leq T(N_t) \longrightarrow 1 \leq i_t \leq N_t \qquad ③$$

$$f_c = \sigma_{ca} - \sigma_c \geqq 0 \qquad ④$$

$$f_b = \sigma_{ba} - \sigma_b \geqq 0 \qquad ⑤$$

$$f_t = \sigma_{ta} - \sigma_t \geqq 0 \qquad ⑥$$

◦最適断面　　ここで求めようとする最適断面は、ある荷重条件下で、上に定義した Feasible Region 内で $f_c = 0$, $f_b = 0$, $f_t = 0$ に最も近い各変数の組合せ、すなわち、i_c, i_b, i_t のどれか1ケを減少させたら④，⑤ ⑥式を満足しないようなものを意味し、これらを全て求めることである。このような組合せは2変数の場合を図示すると、図-3のようになる。これを用いて、2変数の最適断面の求め方を説明する。まず、$i_1 = 1$, $i_2 = 1$（以下、(1,1)とする）の組合せから出発する。(2,1)，(3,1)，(4,1)と進み、(5,1)において初めて、$f_1 \geqq 0$ を満足し、そのとき $f_2 \geqq 0$ も同時に満足している。よって、$i_1 = 5$, $i_2 = 1$ の組合せが最適断面の1つとなる。次に(5,1)から(4,1)に戻り、(4,2)に進む。ここで、$f_1 \geqq 0$, $f_2 \geqq 0$ を満足するが、(4,1)，(3,2)をチェックした後(4,2)を最適断面の1つとする。そして、また、(3,2)に戻り(3,3)，(3,4)，(3,5)と進み、ここで $f_1 \geqq 0$, $f_2 \geqq 0$ を満足し、(3,4)，(2,4)をチェックし、(3,5)を最適断面とする。次に、(2,5)に戻り、(2,6)，------(2, N_2)と進み、ここでも、$f_2 \geqq 0$ を満足せず(2, N_2+1)と進み、ここで $i_2 \geqq N_2$ を満足しなくなり、ストップする。以上、図-3における問題において、最適断面は(5,1)，(4,2)，(3,5)の3つの組合せとなる。

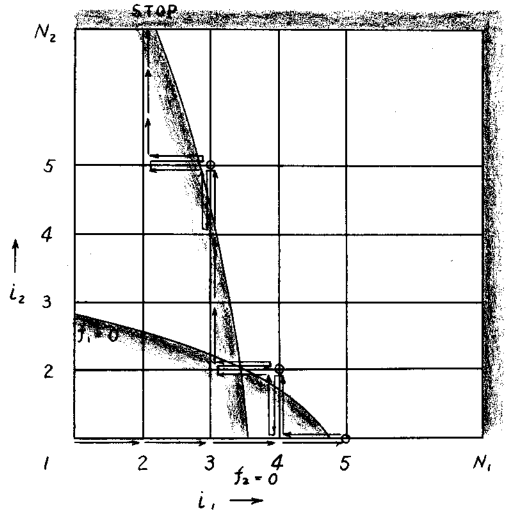


図-3

	H	ϕ	T	$f_c \geqq 0$	$f_b \geqq 0$	$f_t \geqq 0$	最適断面
1	300	22	3.2	NO			
2	350	〃	〃	NO			
3	400	〃	〃	NO			
4	450	〃	〃	OK	OK		
5	400	〃	〃	NO			
6	450	〃	〃	OK	OK	NO	
7	〃	〃	4.5	OK	OK	NO	
8	〃	〃	6	OK	OK	OK	◎
9	400	〃	〃	OK			
10	350	〃	〃	NO			
11	400	〃	〃	OK	OK	NO	
12	〃	〃	9	OK	OK	OK	◎
13	350	〃	〃	OK			
14	300	〃	〃	NO			
15	350	〃	〃	OK	NO		
16	350	25	〃	OK	NO		
17	〃	28	〃	OK	OK		
18	300	〃	〃	NO			
19	350	〃	〃	OK	OK		
20	〃	25	〃	OK	NO		
21	〃	28	〃	OK	OK	NO	
22	〃	〃	13	OK	OK	OK	◎
23	300	〃	〃	NO			
24	350	〃	〃	OK	OK		
25	〃	25	〃	OK	NO		
26	〃	28	〃	OK	OK	OK	
27	〃	〃	9	OK	OK	NO	
28	350	28	13	OK	OK	OK	STOP

表-2

◦計算例　　計算例として、セグメントリングの外径 7.06 m，セグメント巾 90 cm，$\sigma_{ca} = 200\,kg/cm^2$，$\sigma_{ba} = 1200\,kg/cm^2$，$\sigma_{ta} = 800\,kg/cm^2$，鉄筋本数4本，$n = 7$ の場合の結果を表-2に示す。表中、ケース8，12，22がここでいう最適断面となる。

◦あとがき　　コンクリート、鉄筋および鋼板からなる特種な断面について弾性計算に基く最適化を試みたが、良好な結果が得られた。このような許容応力いっぱいの結果を求めることは、実際の構造物の弾性設計を行なう場合、最も要求度の高い問題である。しかしながら、この考え方が他の構造物、Design Variable の数の多い問題に適用できるかどうかは明らかでない。