

I-137 根入れ式鋼板セル護岸の最適設計に関する研究

山口大学工学部 正員 古川 浩平
本州四国連絡橋公団 正員 森山 彰

住友金属工業株式会社 正員 北村 卓也
住友金属工業株式会社 正員 飯田 毅

1. まえがき

護岸は一般に延長距離が大きい構造物であるため、これをいかに経済的、かつ合理的に設計・施工するかは非常に大きな問題である。本研究は、根入れ式鋼板セル護岸の工費最小化のための最適化プログラムを開発し最適設計を試みるとともに、設計変数が目的関数や制約条件に及ぼす影響並びに諸要因間の相互関係を明らかにするものである。

2. 最適化問題の定式化

根入れ式鋼板セル護岸の最適設計問題は次のように定式化できる。

$$C = F\{X\} \rightarrow \min \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$g_i\{X\} \leq 0 \quad (i=1, 2, 3 \dots n) \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに、Cは目的関数であり、護岸の単位長さ当りの工費をある基準設計の工費で除したものとす。工費は、①セル・アークの製作工費・運搬工費 ②セル・アークの設備工費・打設工費 ③中詰工費 ④地盤改良工費 ⑤根固め工費 ⑥背面捨石工費 の6種を考える。Xは設計変数ベクトルであり、図-1に示すようにセル直径 (DIAM), セル高さ (TL), 地盤改良深さ (AZ), 前面及び背面地盤改良幅 (BZ1, BZ2), 地盤改良率 (AS), 根固め高さ (FOOTPH) の7種を考える。よって、この問題は7変数の最適化問題となる。

g_i は制約条件で、地盤の円弧すべり安全率、セルの変形、常時変位、地震時変位、常時支持力、地震時支持力、常時滑動、地震時滑動の各安全率、前面及び背面の地盤改良幅の制約、常時及び地震時の伝播応力制約、パイロハンマー台数制約の13制約と、設計変数の上下限制約を考える。

3. 結果と考察

最適化は7設計変数 (DIAM, TL, AZ, BZ1, BZ2, AS, FOOTPH) で定式化されるが、地盤改良率ASは一定値 (AS=0.7) とし6設計変数問題として扱う。ここでは軟弱地盤層が浅い場合 (5m) と深い場合 (15m) の2種、地盤改良有、無の2種、計4ケースについてそれぞれ最適化を行う。

3-1 浅い軟弱地盤層における結果と考察

a) 地盤改良無の場合

この問題は地盤改良に関する設計変数 (AZ, BZ1, BZ2, AS) を除いた、DIAM, TL, FOOTPHの3変数問題として取扱うことになる。COPEX¹⁾ により最適化した結果を表-1のケースAに示す。このときアクティブな制約は、TLの下限制約、地震時変位制約、地震時滑動制約である。

一方、図式解法によるとTLの変化が地震時変位制

表-1 各ケースの最適設計結果

変数	ケース	A	B	C	D
目的関数		4.794	4.990	8.386	7.674
DIAM (m)		20.60	15.10	28.60	18.20
TL (m)		22.50*	18.50*	32.50*	18.70
FOOTPH (m)		1.90	3.10	1.60	3.10
AZ (m)		—	5.00*	—	13.00
BZ1 (m)		—	9.80*	—	15.40*
BZ2 (m)		—	2.00*	—	5.10*

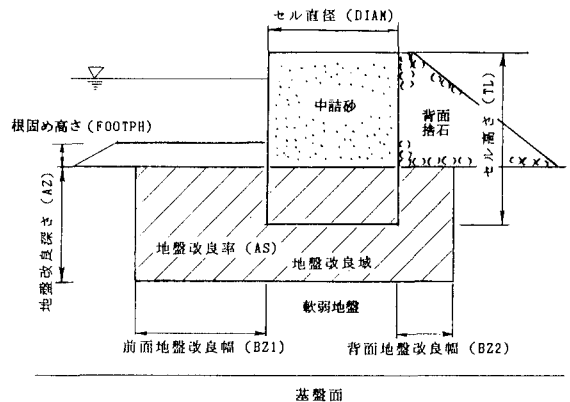


図-1 設計変数

約や地震時滑動制約に及ぼす影響はほとんどなく、TLは常に下限値になり、DIAM-FOOTPHの2変数問題として解けばよいことがわかった。図式解法の一例としてDIAM-FOOTPHの設計平面を図-2に示す。

b) 地盤改良有の場合

設計変数は DIAM, TL, AZ, BZ1, BZ2, FOOTPHの6変数であり、COPES を用いて最適化した結果を表-1のケースBに示す。最適解ではTLが下限値、AZが上限値となり地震時滑動、BZ1, BZ2の最小値制約がアクティブとなっている。

図式解法によると、伝播応力制約のため許容領域はAZ=5.0m以上の部分のみとなり、軟弱地盤全てを改良しなければならないことがわかった。また、BZ1, BZ2 はTLによって決定される従属変数と考えられた。そこで独立な設計変数 TL, DIAM, FOOTPHを用いてDIAM-TL, TL-FOOTPHを各軸とした図を描くと、許容領域と目的関数の関係からTLは下限制約値(18.5m) となることがわかった。よってこの場合もDIAM, FOOTPHの2変数最適化問題となる。

3-2 深い軟弱地盤層における結果と考察

地盤改良無の場合の結果を表-1のケースCに示す。アクティブな制約はTLの下限値制約と地震時変位制約である。

地盤改良有の場合の結果を表-1のケースDに示す。アクティブな制約は円弧すべり制約、BZ1, BZ2の最小値制約、地震時伝播応力制約であり、いずれも地盤改良域と関係する。最適解ではBZ1, BZ2 が受働崩壊角から求まる最小値になっており、しかもAZは軟弱地盤層の途中で止まっていること、円弧すべり安全率制約がアクティブであることを考慮すると、BZ1, BZ2 は最小値を、AZとして円弧すべり安全率を満足する深さまで地盤改良するのが最適解であることがわかった。この場合の図式解法の一例を図-3に示す。

なお、表-1より軟弱地盤層が深い場合、地盤改良有の工費は無より安いことがわかる。しかし、本研究の目的関数には工期の要素は含まれておらず工期面に対する考慮も設計を選ぶ上で必要となるであろう。

4. 結論

①地盤改良しない場合の設計では、軟弱地盤層の深さに関係なくTLとして下限制約値を用い、残りのDIAM, FOOTPHの2変数最適化問題として定式化できる。②地盤改良する場合にはBZ1, BZ2 はいずれも最小値で最適解が得られ、最小限の幅で地盤改良すれば良いことがわかる。③地盤改良有、無の工費を比較すると、軟弱地盤層が浅い場合には改良有の方が工費はやや高く、深い場合には安くなることが明らかになった。しかし工費には工期面の評価が含まれていないため地盤改良の工期も考慮の上で地盤改良するか否かを判断する必要がある。

参考文献

- 1) Madsen, L. E. and G. N. Vanderplaats : COPES-A FORTRAN CONTROL PROGRAM FOR ENGINEERING SYNTHESIS, Users Manual, Naval Postgraduate School, Monterey, March, 1982.

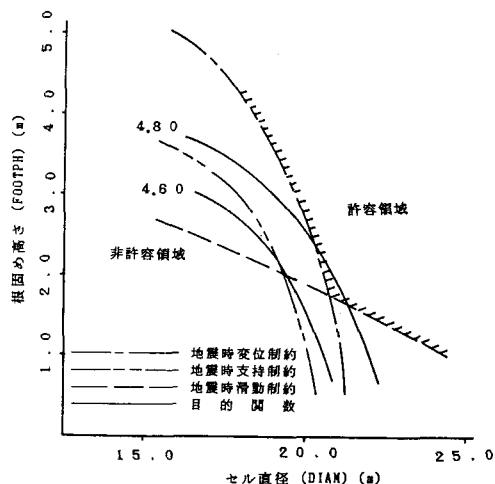


図-2 DIAM-FOOTPH 設計平面
(浅い軟弱地盤；改良無の場合)
TL=22.5

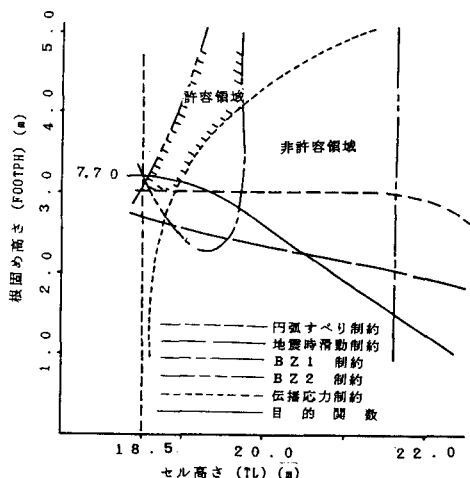


図-3 TL-FOOTPH 設計平面
(深い軟弱地盤；改良有の場合)
DIAM=18.2, AZ=13.0, BZ1=15.4, BZ2=5.1