

柔構造樋門の即時沈下量算定に関する一考察

A study on the computation of the immediate settlement by the flexible gate

北武コンサルタント(株) ○正会員 長内 佑介 (Yusuke Nagauchi)
 北武コンサルタント(株) 熊倉 紹二 (Shoji Kumakura)
 北武コンサルタント(株) 正会員 伊藤 慶一 (Keiichi Itou)
 北武コンサルタント(株) 正会員 渡辺 忠朋 (Tadatomo Watanabe)

1. はじめに

治水施設のうち河川堤防を横断して設けられる樋門は、それ自体が堤防としての機能を有している。しかし、樋門の函体と堤体土との重量・剛性等の相違から函体と周辺土は密着し難く、特に地盤の沈下大きい軟弱地盤における支持杭基礎の樋門においては、函体底板下の基礎地盤や周辺堤防に河川堤防の安全を脅かす空洞化が起こる例は少なくない。

そこで今日、これらの問題に対処するため、樋門の設計法を従来の「支持杭による剛支持基礎」から「直接基礎を主体とする柔支持基礎」に転換された。

樋門の設計・施工は、堤防・基礎地盤・樋門本体の3者の相互作用、言い換えれば変位・応力・浸透の影響を同時に考慮しなければならないため、他の土木構造物の設計とは異質な点も多く、設計・施工上の課題が十分には解決していない部分も少なくない。しかも、設計法の転換に伴って、設計思想を大きく変えたため、設計法が学術的に十分明らかにされていないのが現状である。

現在の設計法では、残留沈下量の許容値の目安を5cmとして、直接基礎・柔支持基礎に分けられる。また柔支持基礎における許容残留沈下量は、樋門の機能、函体の構造形式および堤体に悪影響をおよぼさない範囲まで抑制することが望ましく、目安として30cm以内とされている。

さらに、樋門本体と基礎地盤の相対変位量は、許容値以内でなければならない。正の相対変位量(函体の沈下が地盤の沈下より大きい場合)は、基礎地盤の降伏変位量を超えないものとし、基礎幅の1%かつ5cm以内とされている。樋門本体と地盤との負の相対変位量は、函体底板下の空洞化を判定する目安であり、許容値は5cmとされている。

構造上の点では、函軸方向には地盤の残留沈下分布、堤防の横断形状、樋門の構造形式、基礎および地盤の変位特性、基礎形式を考慮して適切なスパン割をすることとなり、継手の形状によって変形能力(開口、目違い、折れ角)の目安があり、折れ角の許容値については最小で1.5°となっている。

ようするに、基礎幅が狭く、管長が短い比較的小規模な柔構造樋門設計においては、許容値で非常に制約されるため、沈下量の数cmの違いにより、非常に大きな影響をおよぼす。

そこで本研究では、図1に示すような比較的小規模な柔構造樋門の設計にあたり最も核となる沈下解析に着目し、以下の2点について検討を行うことを目的とする。

- ・ 載荷荷重のモデル化が樋門の構造形式に与える影響
- ・ 載荷幅Bおよび載荷奥行Lが即時沈下に与える影響

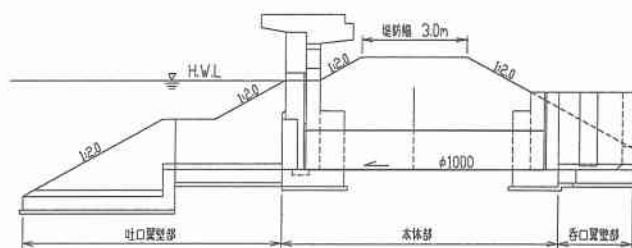


図1 比較的小規模な樋門の形状

2. 載荷荷重のモデル化が即時沈下に与える影響

樋門本体の縦方向の設計に考慮する地盤の沈下は函体直近の基礎地盤を対象として、床付け面における函体設置後の残留沈下分布として、即時沈下量と圧密沈下量の和を求める。そのうち即時沈下量は、原則として盛土等の載荷による、地盤のせん断抵抗に伴う沈下として算定する。沈下量算出の参考式は道路土工指針に用いられている方法と基本的には同じで、堤体を等価な帯状荷重に近似して沈下量の分布を求めている。しかし、設計者によって載荷モデルの形状に違いが見られる。これにより沈下曲線が異なり、構造形式の選定に違いが現れると推測できる。

そこで樋門の本体長が異なる3つ事例を用い、載荷モデルの違いにより、沈下曲線が構造形式にどのような影響を与えるか検証を試みた。

2.1. 沈下量算出における検討方法および諸元

即時沈下量算出における各ケース毎の諸元を表1に示す。またモデルの形状は以下のように設定した。

なお、本体長は呑口側胸壁先端から吐口側胸壁先端までを示す。

- (1) 堤体を1つの帯状荷重として載荷した場合(図2)
- (2) (1)の荷重を2〜3分割で載荷した場合(図3, 図4)
- (3) 荷重の厚さを50cm程度とし、荷重モデルを堤体の形状に近似させた場合(図5)

表1 検討ケース諸元

検討ケース	本体長	構造形式	分割数
ケース1	5.0m	Box 1000×1000	3, 4, 5, 8
ケース2	8.2m	φ1000 全巻管	4, 7, 13
ケース3	15.8m	φ1000 ダクト管	2, 3, 5, 11

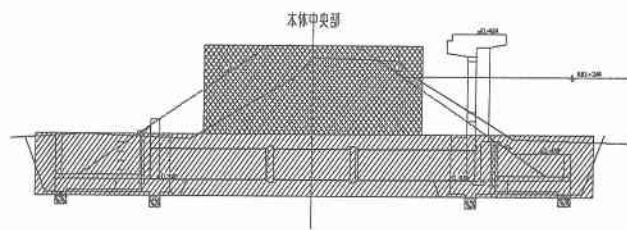


図2 荷重モデル-1

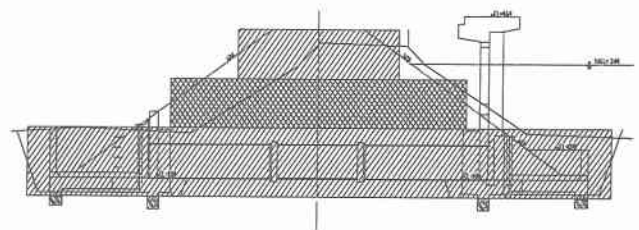


図4 荷重モデル-3

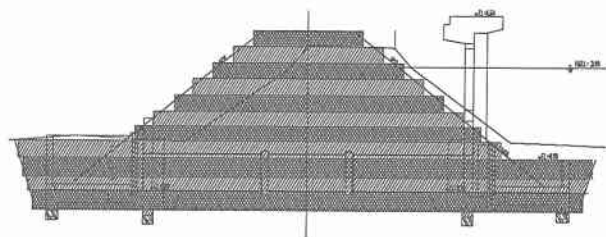


図5 荷重モデル-4

2.2 検証結果および考察

各検討ケースにおける、荷重モデル別の沈下曲線を図6～図8に示す。また、本体中央部、端部に着目し最も細分化した沈下量を1としたときの他のモデルとの比率の一覧を表2に示す。

なお、端部についてはばらつき大きい方のみを対象とした。

ケース1においては着目点⑧～⑩でのばらつきが顕著である。特に本体端部における着目点⑨では最大で約6cm、比率として約20%の差異がある。この地点は掘削ラインと堤防法面の両方が存在し、荷重厚によって荷重範囲の広狭が生じるため、このような結果が得られると考察できる。また、本体端部は相対変位量の照査での重要な要因となっている。これは荷重モデルの違いによって基礎形式の選定に大きな影響を与えたと考えられる。

ケース3では本体長が15.8mと比較的長いため、法長が長くなり、ばらつきの範囲が広がる。これは沈下曲線の線形に差異を生じさせ、スパン割等の構造形式の選定に大きな影響を与えたと考察できる。

3ケース全てに対しては、堤体中央部においては荷重の総重量が変わらないが表2より細分化するほど沈下量は減少傾向にある。これは即時沈下算出の参考式が荷重センターからの距離に影響を受けると考察できる。また載荷荷重を堤体に近似させたモデルの沈下曲線は滑らかな線形を示し、荷重モデルは堤体に近似させたほうが精度の高い沈下曲線が得られると推測することができるが、計算の煩雑さを考慮し、荷重の分割は50cm程度が適当であると考えられる。

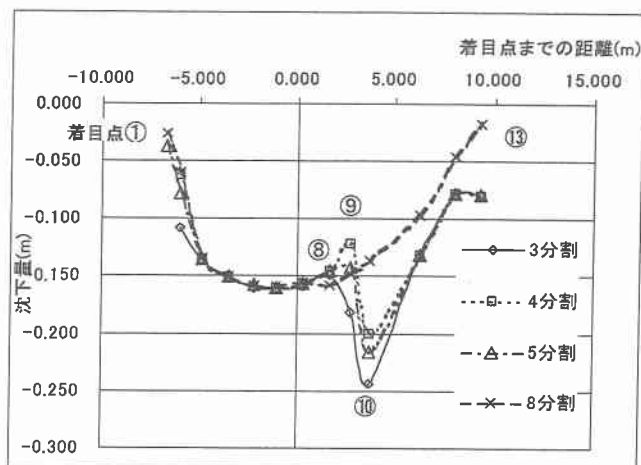


図6 ケース1

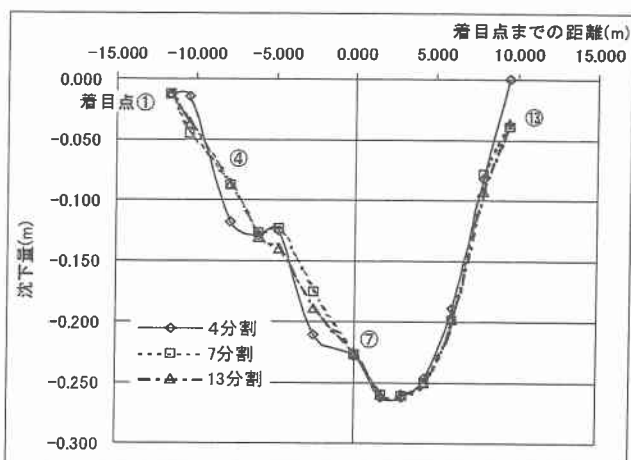


図7 ケース2

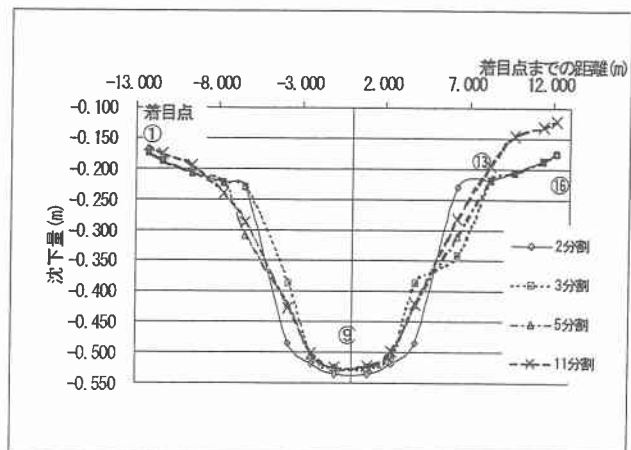


図8 ケース3

表2 本体中央部・端部における沈下量

検討ケース	分割数	中央部		端部	
		着目点	沈下量 (m)	比率	着目点
ケース1	3	⑦	-0.159	1.019	⑨
	4		-0.157	1.006	
	5		-0.157	1.006	
	8		-0.156	1.000	
ケース2	4	⑦	-2.286	1.011	④
	7		-2.262	1.000	
	13		-2.261	1.000	
ケース3	2	⑨	-0.518	1.034	⑬
	3		-0.507	1.012	
	5		-0.504	1.006	
	11		-0.501	1.000	

3. 載荷幅Bおよび載荷奥行Lが即時沈下に与える影響

柔構造樋門における即時沈下を推定するためには、変形係数の算定が必要である。算出式を式-1に示す。各地盤の変形係数 E_s はボーリング孔内で測定した変形係数、一軸圧縮試験の E_{s0} および三軸圧縮試験より求めた変形係数を用いる。また、標準貫入試験の N 値より推定する場合は $E_s=700N$ 程度としてよいとなっている。

$$E_m = \frac{\log \frac{(B + 2h_n \cdot \tan \theta)L}{(L + 2h_n \cdot \tan \theta)B}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E_i} \log \frac{(B + 2h_i \cdot \tan \theta)(L + 2h_{i-1} \cdot \tan \theta)}{(L + 2h_i \cdot \tan \theta)(B + 2h_{i-1} \cdot \tan \theta)}}$$

式-1

ここに、

E_m : $B \neq L$ のときの地盤の変化を考慮に入れた換算変形係数 (kN/m^2)

B : 載荷幅 (m)

L : 載荷奥行 (m)

h_n : 影響を調べなければならない深さ (m) で、載荷幅 B の3倍以上とする。

h_i : 細分する各層底面までの深さ (m)

E_i : 細分した第 i 番目の層の変形係数 (kN/m^2)

θ : 荷重の分散角度で、 $\theta=30^\circ$ とする。

この算出式の B と L はそれぞれ開削幅、堤体幅となっているが、幅の取り方に対する詳細な記述、定義がなく、設計者の判断に委ねられている。ゆえに図8、図9に示す通り、様々な幅を取ることができる。

そこで、載荷幅、載荷奥行の変化によって変形係数および沈下量の算出にどのような影響を与えるかを検討を試みた。

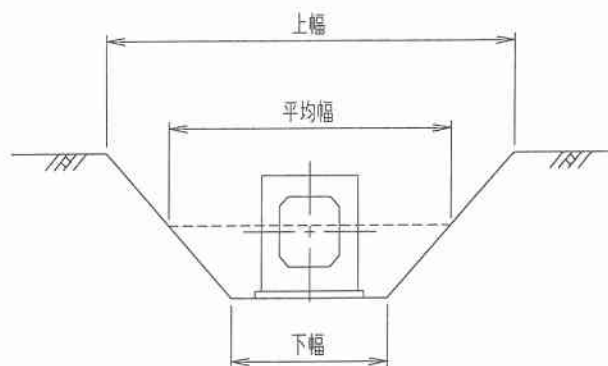


図9 開削幅Bの取り方

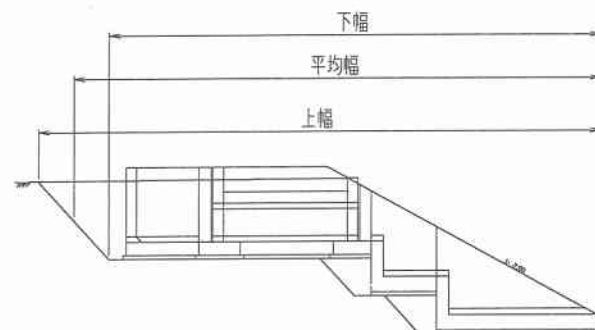


図10 載荷奥行Lの取り方

3.1. 検討方法および検討諸元

載荷幅、載荷奥行の検討にあたり、検討ケースは前述の3ケースを使用する。方法は載荷幅、載荷奥行とも下幅、平均開削幅、上幅についてそれぞれ変形係数を求め、沈下量を算出した。表3に諸元の一覧を示す。

検討は載荷奥行は載荷幅の平均幅を固定値し、載荷幅は載荷奥行の平均幅を固定し検証を行った。

なお沈下対象層は載荷幅の3倍以上必要であるが、沈下量の差を検討するため、一定値とした。

表3 検討諸元一覧

検討ケース	載荷幅 B (m)	載荷奥行 L (m)	対象層 h_n (m)
ケース1	下	2.600	22.07
	平均	4.673	
	上	6.745	
ケース2	下	2.700	22.07
	平均	5.635	
	上	8.570	
ケース3	下	3.000	23.47
	平均	6.990	
	上	14.980	

3.2 検討結果および考察

載荷幅 B の違いによる変形係数、最大沈下量の一覧を表 4 に、
載荷奥行 L の違いによる変形係数、最大沈下量の一覧を表 5 に
示す。

まず、載荷幅については、取り方によって沈下量のばらつき
が大きく、ケース 2 ではそれが顕著である。ゆえに変形係数、
沈下量は載荷幅 B に大きな影響を受けることがわかる。しかし、
これだけでは沈下計算における載荷幅 B を明確にすることは困
難である。

そこで柔構造通門の設計の際には、沈下解析における側方変位
量の考え方との整合をはかり、載荷幅は平均開削幅にすることが
妥当であると判断される。

次に、載荷奥行については、どのケースにおいても沈下量に大
きな変化が見られないことがわかる。これは載荷幅ほど大きな幅
の変化がないということもあるが、変形係数の算出式が載荷奥行
L よりも載荷幅 B に影響を受けると考察できる。

表 4 載荷幅 B の検討結果

検討ケース	載荷幅 (m)		変形係数 (kN/m ²)	沈下量 (cm)
ケース 1	下	2.600	1819.668	17.4
	平均	4.673	1990.591	15.9
	上	6.745	2093.715	15.1
ケース 2	下	2.700	2946.098	30.1
	平均	5.635	3401.029	26.1
	上	8.570	3676.157	24.1
ケース 3	下	3.000	1381.129	52.9
	平均	6.990	1397.003	52.3
	上	10.980	1395.957	52.3

表 5 載荷奥行 L の検討結果

検討ケース	載荷奥行 (m)		変形係数 (kN/m ²)	沈下量 (cm)
ケース 1	下	16.224	1977.332	16.0
	平均	15.202	1990.591	15.9
	上	16.224	2002.684	15.8
ケース 2	下	16.950	3351.388	26.3
	平均	19.043	3401.029	25.9
	上	21.135	3443.994	25.6
ケース 3	下	24.400	1397.109	45.9
	平均	25.342	1397.012	45.9
	上	26.160	1396.935	45.9

4. おわりに

本研究で得られた成果は以下の通りである。

- ・沈下量算出における載荷荷重モデルの違いにより、沈下量にば
らつきがあることがわかった。
- ・即時沈下算出の参考式は総重量が同じ場合、各分割荷重のセン
ターからの距離に影響を受け、細分化するほど沈下量が減少する
ことがわかった。
- ・沈下量算出においては載荷幅 B が沈下量（変形係数）に影響
をおよぼす要因であることがわかった。

今後の課題は、荷重の分割数と沈下量との法則性を明確にする
ことである。そのためには、今回求めた参考式での値と計測管理
の実測値との関連性を定量的に検証することが必要である。

また、載荷幅、載荷奥行については沈下対象層の考え方も含め
て変形係数との関連性を明らかにすることである。

参考文献

柔構造通門設計の手引き
：(財) 国土開発技術センター 1998. 11

道路土工 軟弱地盤対策工指針
：社団法人 日本道路協会 1986. 11

建設省河川砂防技術基準（案）同解説 設計編 [I]
：社団法人 日本河川協会編 1997. 10

道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）同解説
：社団法人 日本道路協会 1999. 1