

柔構造樋門における即時沈下量に関する一考察その2

A study on settlement under the flexible sluiceway

(株)北海道水工コンサルタンツ ○正会員 堀江 秀亮 (Hideaki Horie)
 石川 準 (Jun Ishikawa)
 (株)ジオテック 宮内 武 (Takeshi Miyauchi)

1. はじめに

土を材料とした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必要がある。しかし、樋門の函体と堤体土との剛性の相違から函体と周辺土が密着し難く、特に地盤沈下の大きい軟弱地盤における支持杭基礎の樋門においては、堤体と函体との空洞化や周辺部のゆるみ等が発生し、堤防の弱点部となっていた。

このため平成10年度に、「柔構造樋門設計の手引き」

(以下、手引きという)が発行され、従来の「支持杭による剛支持方式」から、基礎地盤の沈下に追従し空洞化やゆるみを軽減させる「直接基礎を主体とする柔支持方式」に転換し、全国的に「柔構造樋門」として設計・施工されてきている。

北海道の中小河川においては、平成11年度から柔構造樋門が取入れられようになった。

しかし、施工された小規模な柔構造樋門の即時沈下量については、計算値と実測値に相違がみられ、計算値が大きくなる傾向が顕著となっており、設計・施工上の問題点として提起されつつある。

本報告では、これまでに施工済みの樋門(10基)、排水工(17基)、計27基の地質データ、沈下データなどが入手できたのでこれらを整理とりまとめるとともに、代表的な5基をモデルとして ①地盤の換算変形係数(E_m)が即時沈下量に与える影響 ②仮想地盤における換算変形係数(E_m)の変化 ③B(堤体幅)とL(開削幅)が即時沈下量に与える影響 の3検討を行った。

さらに、①~③の内容を踏まえて、条件を再設定した樋門・排水工27基の即時沈下量と設計・実測沈下量との関係について検討を行った。これらから、小規模な樋門の特徴に関する手引きの解析方法を運用に際する注意事項として考察した。

2. 即時沈下(計算値)の算出方法(手引きの方法)

即時沈下量は、地盤を弾性体とみなして弾性変位量として求めるもので、以下に示す。

この式は、堤体を等価な複数の帯状荷重に近似して沈下量を求めるものである。(図2.1参照)

$$S_{ix} = \sum_{i=1}^n \frac{-3a_i \cdot q_i}{E_m \cdot \pi} \log \left(\tan^{-1} \frac{a_i}{H} \right) \cdot \left\{ 1.0 - \frac{0.75}{\pi} \left[\left(1 + \frac{x}{a_i} \right) \log \left| 1 + \frac{x}{a_i} \right| + \left(1 - \frac{x}{a_i} \right) \log \left| 1 - \frac{x}{a_i} \right| \right] \right\} \dots \dots (1)$$

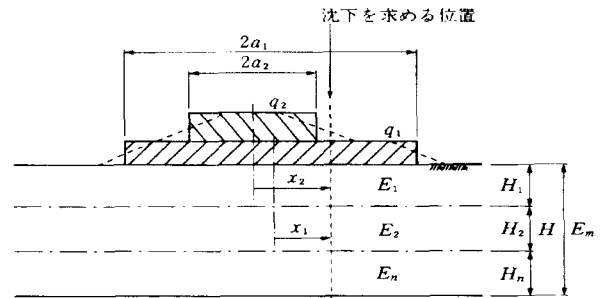


図2.1 即時沈下の計算モデル

ここに、

- S_{ix} : 函軸方向 x の位置の基礎地盤の即時沈下量 (m)
- q_i : 盛土荷重 (KN/m²)
- E_m : (2)式による地盤の換算変形係数 (KN/m²)
- $2a_i$: 載荷幅 (m)
- H : 即時沈下の影響を考慮する深さ (m)
- n : 等分布荷重数
- x : それぞれの等分布荷重のセンターからの距離 (m)

(1)式における地盤の換算変形係数 E_m は、土層が深さ方向に変化する場合、特に軟弱層が存在する場合などの多層地盤では、次式によりその影響を考慮に入れ、換算変形係数 E_m を算出する。

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

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/m²)
- 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/m²)
- θ : 荷重の分散角度で、 $\theta = 30^\circ$ とする。

3. モデルケースによる検討

(1) 地盤の換算変形係数 (E_m) が即時沈下量に与える影響

27基の調査樋門・排水工における換算変形係数に関するヒストグラムを図3.1に示す。また、モデルケースにおいて換算変形係数以外の変数を固定し、即時沈下量の計算を行った結果を図3.2に示す。

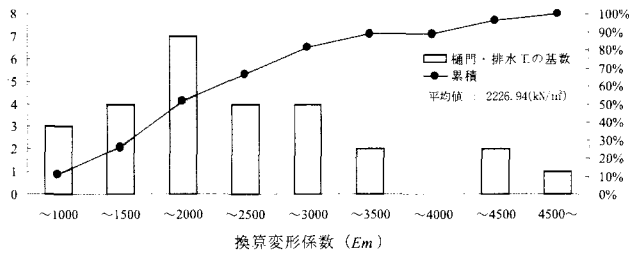


図3.1 27基における換算変形係数のまとめ

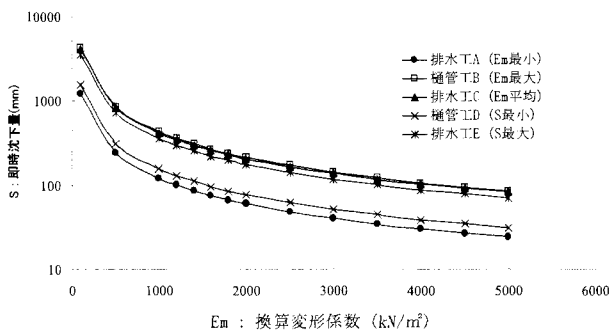


図3.2 モデルケースの換算変形係数と即時沈下量の関係

図3.1から、換算変形係数の平均値は2226.94 kN/m²であるが、累計の折れ線を見ると半数以上の樋門・排水工の換算変形係数は2000 kN/m²以下であり、柔構造樋門・排水工の多くは、換算変形係数が2000~3000 kN/m²以下であることが分かる。

図3.2の結果からは特に換算変形係数が2000 kN/m²以下で即時沈下量の変化が大きく、換算変形係数が3000 kN/m²を超えると即時沈下量の変化は緩やかになる傾向にあることが分かり、これは樋門・排水工の設計では E_m (換算変形係数) の設定が非常に重要な要素となることを示している。

(2) 仮想地盤における換算変形係数 (E_m) の変化

沈下対象層トータルでの層厚は変えず、以下のような条件設定により図3.3のような仮想地盤モデルを設定し、各土層の変形係数 E_s と $B \cdot L$ による、換算変形係数 E_m の変化について検討を行った。

検討結果を図3.4に示す。

- ・ case.1 下層より上層が弱い地盤で上層が薄い層
- ・ case.2 上層より下層が弱い地盤で上層が薄い層
- ・ case.3 上層より下層が弱い地盤で下層が薄い層
- ・ case.4 下層より上層が弱い地盤で下層が薄い層
- ・ case.5 上層より下層が弱い地盤で上層下層等厚
- ・ case.6 下層より上層が弱い地盤で上層下層等厚

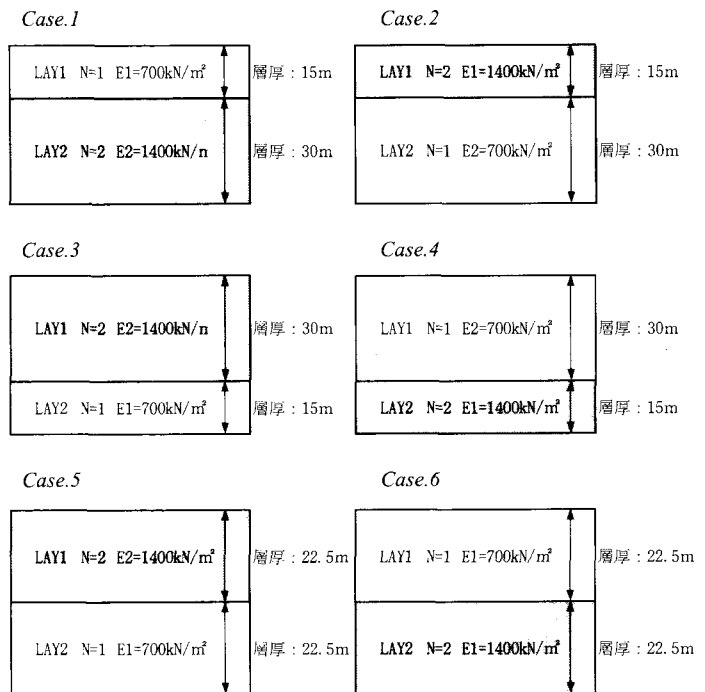


図3.3 仮想地盤の条件設定

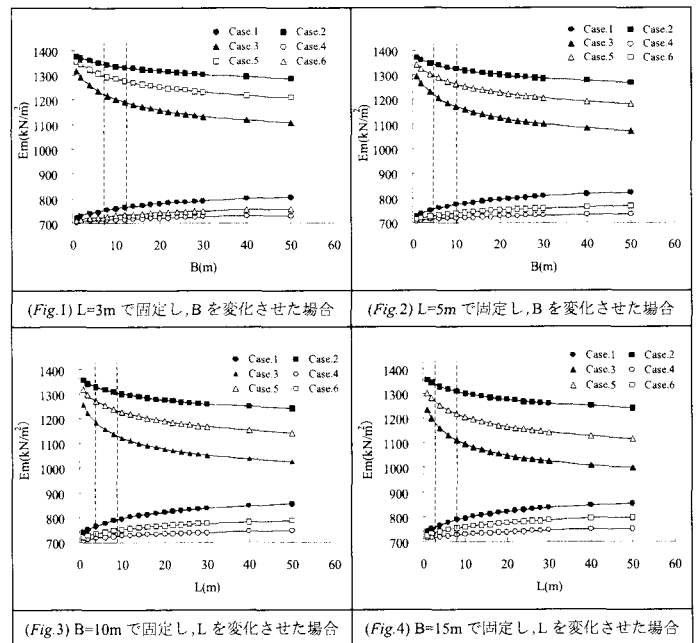


図3.4 仮想地盤における E_m の変化

図3.4より、 $B \cdot L$ が5~10m以下の場合には、 E_m の曲線は大きなカーブを描くことが明らかとなった。道内の樋門・排水工は小規模なものが多いため、開削幅 L はこの範囲に入ってくるものが多い。このため、 L の設定方法によって、 E_m が大きく変化することが予測される。また、第1層の変形係数が大きい場合は、 B または L が増加するにつれ、 E_m が減少し、第1層の変形係数が小さい場合には、 B または L が増加するに伴い、 E_m が増加する傾向が認められた。

(3) B（堤体幅）とL（開削幅）が

即時沈下量に与える影響

B（載荷幅：堤体幅）とL（載荷奥行：開削幅）は、北海道の柔構造樋門の検討にあたって、今回の調査対象となった樋門・排水工では上幅で設定しているものが3基、下幅に設定しているものが22基、平均幅で設定しているものが8基という結果であった。

検討対象としたモデルケース5基において、上幅、下幅、平均幅として設定した場合の換算変形係数および即時沈下量を算出した。この結果を表3.2に示す。

表3.2 B・Lの変化と変形係数および沈下量の相違

| 排水工A | 平均幅 | 下幅 | 上幅 | 樋管工B | 平均幅 | 下幅 | 上幅 |
|-----------|--------|--------|--------|-----------|---------|---------|---------|
| B(堤体幅): m | 15.01 | 15.10 | 17.82 | B(堤体幅): m | 19.783 | 18.140 | 21.425 |
| L(開削幅): m | 7.12 | 4.90 | 9.34 | L(開削幅): m | 4.23 | 3.00 | 5.46 |
| 換算変形係数 | 727.66 | 718.53 | 738.88 | 換算変形係数 | 5063.99 | 4932.00 | 5176.47 |
| 計算値: cm | 16.81 | 17.02 | 16.56 | 計算値: cm | 8.45 | 8.68 | 8.27 |

| 排水工C | 平均幅 | 下幅 | 上幅 | 樋管工D | 平均幅 | 下幅 | 上幅 |
|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| B(堤体幅): m | 15.91 | 14.58 | 21.43 | B(堤体幅): m | 24.652 | 23.300 | 26.003 |
| L(開削幅): m | 4.67 | 2.60 | 5.46 | L(開削幅): m | 3.076 | 2.041 | 4.111 |
| 換算変形係数 | 2177.96 | 1966.90 | 2282.27 | 換算変形係数 | 4284.16 | 4045.36 | 4430.31 |
| 計算値: cm | 17.82 | 19.73 | 16.83 | 計算値: cm | 3.64 | 3.86 | 3.52 |

| 排水工E | 平均幅 | 下幅 | 上幅 |
|-----------|--------|--------|---------|
| B(堤体幅): m | 16.332 | 15.10 | 17.564 |
| L(開削幅): m | 3.301 | 1.631 | 4.97 |
| 換算変形係数 | 992.08 | 954.38 | 1020.80 |
| 計算値: cm | 35.82 | 37.24 | 34.82 |

表3.2の結果、各地点でばらつきがあるものの、下幅を用いると沈下量が大きく算出される傾向にあるが、即時沈下量(計算値)の差は最大で3cm程度であった。

側方変位量の考え方が“地盤のせん断変形に伴う水平変位”であるのに対し、即時沈下量の考え方は“地盤のせん断変形に伴う沈下”として取り扱われるため、本検討における即時沈下量の算出には側方変位量と同様の算出方法とし、平均幅として取り扱うものとする。また、BについてもLと同様に考えるものとする。

4. 条件を再設定した樋門・排水工27基の

即時沈下量と設計・実測沈下量との関係

3.(1)~(3)の検討内容を踏まえて設定条件を整理し、樋門・排水工27基について実測値および設計値との関係について検討を行う。

(1) 沈下対象層および変形係数の設定

沈下対象層は、粘性土でN値>10程度、礫質土・砂質土でN>20程度を目安に層厚が3~5m以上ある土層を沈下しない層(即時沈下が卓越しない層)と考え、これ以下のN値の土層を対象とした。

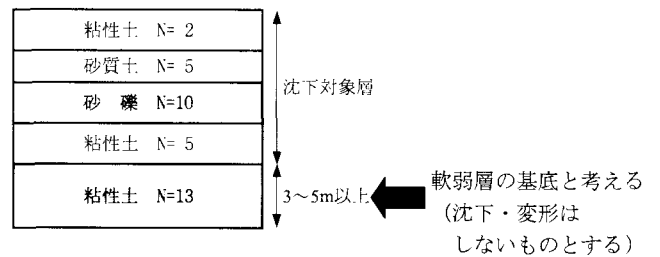


図4.1 沈下対象層の考え方(例)

また、各土層の変形係数は、孔内水平載荷試験や一軸圧縮試験の結果を中心とした変形係数(以後、設計値とする)とE=700Nから推定した変形係数(以後、700Nとする)の2タイプを設定した。

(2) BおよびLの設定

B(載荷幅：堤体幅)とL(載荷奥行：開削幅)は平均開削幅として設定した。

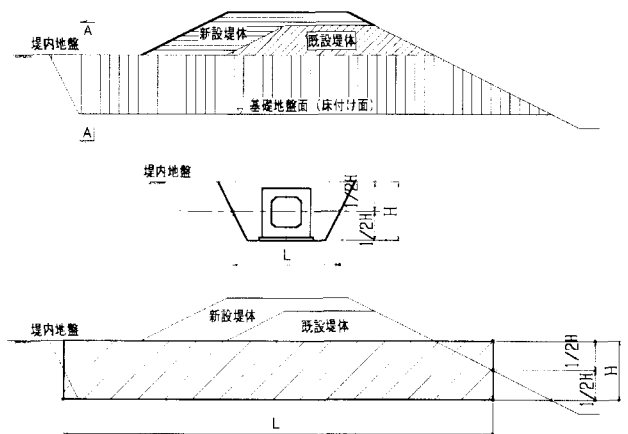


図4.2 BとLの設定位置

(3) 盛土荷重の考え方

盛土荷重は、手引きに従い埋め戻し土についても全重量を荷重として扱う計算(パターン1：全重量とする)と、他地建で採用されている考え方として、押え効果を考慮し、埋め戻し土については排土重量の1/2を減じた荷重を設定した計算(パターン2：排土重量1/2とする)の2パターンを設定した。

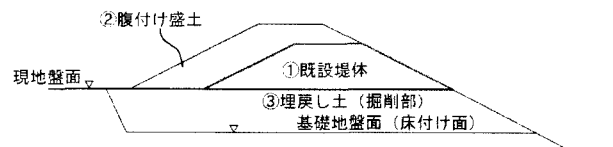


図4.3(1) パターン1(全重量)

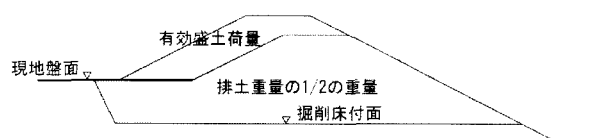


図4.3(2) パターン2(排土重量1/2)

(4) 検討結果その1

盛土荷重の設定方法に着目し、各土層の変形係数が設計値および700Nの場合に対して比較を行った。検討結果を図4.4(1)、図4.4(2)に示す。

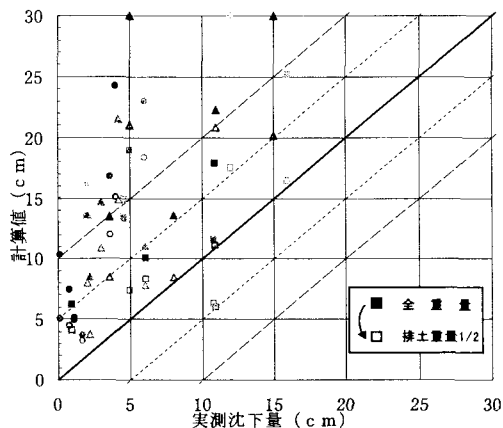


図4.4(1) 設計値での全重量と排土重量1/2

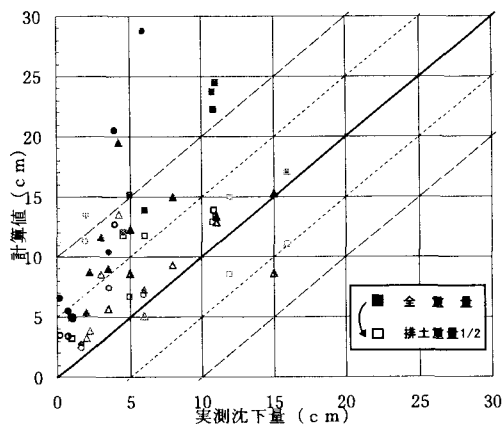


図4.4(2) 700Nでの全重量と排土重量1/2

排土重量1/2の計算沈下量は全重量の計算沈下量と比較して、実測沈下量に近い値となる傾向が認められた。特に設計値においては、全重量と排土重量1/2の差は大きく、全重量を荷重として設定した場合の計算値は実測値よりかなり大きくなることが明らかとなった。

(5) 検討結果その2

変形係数の設定方法に着目した実測沈下量と計算値の散布図を図4.5に示す。

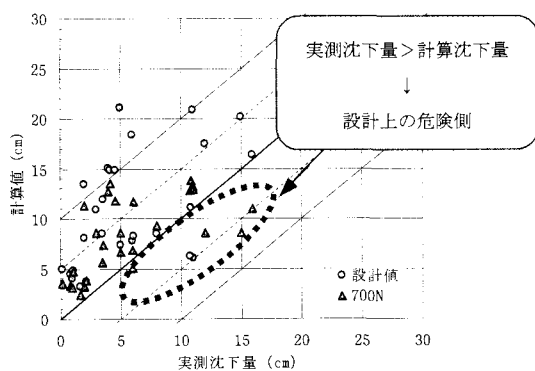


図4.5 排土重量1/2での計算値と実測値

排土重量1/2での計算値の中に、計算値が実測沈下量を下回る排水工があることが明らかとなった。

この内設計値の2基においては、地質調査が十分ではないことから沈下対象層厚を小さく見積もった可能性があるため、設計上の危険側に作用したものと考えられる。

5. 考察

これまでの検討結果により、即時沈下量に対する影響について、調査・設計時に特に留意する必要があるものと考えられるのは、①沈下対象層の取り扱い ②変形係数の取り扱い ③排土重量の取り扱い である。

この中で変形係数の取り扱いについては、700Nで設定すると計算沈下量が小さくなり設計上の危険側につながる可能性があるため、使用するには十分注意を要する。

沈下対象層の取り扱いではBとLが小さい場合、上層地盤の影響を強く受ける傾向にあるため、北海道における中小河川の樋門が小規模であることを考え合わせると、より慎重な調査・検討が必要である。

排土重量の取り扱いについては、全重量を荷重として設定した場合、実際の即時沈下量と大きな開きがあることを考慮すると、本検討内容を踏まえ、発注者や設計者の判断により排土重量の1/2を減じた荷重で設計することは有効な手法の一つであると言える。

6. まとめ

今後は、統一した条件に基づく調査・設計手法、また沈下量の計測を行うことにより、これまでの検討内容との比較・検証を積み重ね、中小河川における設計手法を確立する資料の一端を担えれば幸いである。

謝辞

最後に、柔構造樋門の調査に対して協力して頂いた北海道小樽土木現業所等の関係者に対して、心から謝意を表します。

【参考文献】

(財)国土開発技術センター編：

柔構造樋門設計の手引き，平成13年5月

(社)日本道路協会：道路土工 軟弱地盤対策工指針，

昭和61年3月

建設省関東地方建設局河川部河川工事課：

河川構造物設計の手引き(案)，平成12年3月

建設省九州地方建設局河川部河川工事課：

樋門の設計要領(案)，平成11年4月

(株)建設産業調査会：

建設基礎・地盤設計施工便覧，平成4年4月

(財)全国建設研修センター：

樋門・樋管の概略設計，平成14年度