

実測値に基づく軟弱地盤の沈下予測法の精度と適用性

Evaluation of Current Methods for Predicting Settlement of
Embankment on Soft Ground by Several Case Records

世 良 至 (せら いたる)

広島道路エンジニア㈱代表取締役
(元 日本道路公団試験研究所 所長)

殿垣内 正 人 (とのがいと まさひと)

日本道路公団試験研究所土工試験研究室 主任

川井田 実 (かわいだ みのもる)

日本道路公団技術部 道路技術課

1. 道路盛土の沈下予測の現状

軟弱地盤上に建設された高速道路盛土の現状をみると、道路の供用後も長期間継続する沈下のために、路面の凹凸による走行不良やカルバートボックスの断面不足等、道路機能にさまざまな支障が生じている。

盛土の建設時には、このような支障を可能な限り低減すべく多種多様な対策を講じているが、沈下を発生させないような対策は経済的とはいえ、一般には、サーチャージや残留沈下量分のかさ上げなど、沈下の発生を前提とした対策を行っている。よって、沈下対策の成否は沈下予測の確かさにかかっているといっていよいであろう。

設計時における沈下予測は、標準圧密試験および Terzaghi の圧密理論によっているが、複雑な地盤の性状を詳細に把握することは困難であり、理論の適用の際の理想化・単純化もあって、実際の沈下挙動とは一致しない場合が多い。

しかし、高速道路盛土においては、次に示す各段階において、精度の高い将来沈下予測が必要とされる。

(a) 土工・舗装段階

- ① サーチャージやプレロードの量、放置期間および除去時期の決定。
- ② 構造物の上げ越し量や断面余裕および盛土のかさ上げ量の決定。
- ③ 盛土の幅員余裕の決定。
- ④ 周辺地盤および構造物の補修時期の決定。

(b) 維持管理段階

⑤ 路面の凹凸および構造物と盛土部の段差等の補修計画の策定。

⑥ 周辺地盤および構造物の補修時期の決定。

このため、実際の盛土工事においては、施工時に得られる実測値に基づいて将来沈下の予測を行い、当初の設計をチェックし、地盤の挙動にあわせて施工方針を変更していく手法がとられている。

実測沈下に基づく将来沈下予測手法として、現在一般に用いられている方法は、双曲線法¹⁾、星埜法(\sqrt{t} 法)²⁾、浅岡法³⁾、門田法⁴⁾、 $\log t$ 法などがあるが、日本道路公団では、土工・舗装時の短期間の予測には双曲線法を、維持管理段階の長期的な予測については $\log t$ 法を用いている。

これらの予測法を用いて、信頼性の高い沈下予測を行うためには、その予測法の精度を知っておくことが非常に重要であるが、これについて検討した事例⁵⁾は少ない。

そこで、門田法(ドレーン打設条件から導かれたもの)および $\log t$ 法を除く、双曲線法、星埜法、浅岡法の3手法について、これまでに施工された軟弱地盤上の高速道路盛土の計測データを用いて、予測精度とその適用性について検討した。

2. 検討の方法

2.1 検討に用いたデータ

予測精度の検討に用いたデータは、軟弱地盤上に施工された高速道路盛土での地表面沈下計の観測記録のうち、次の条件を満足する地点のデータとした。

- ① 盛土立上りから6か月以上沈下が計測されていること。

表-1 検討対象地点の路線別の内訳

路線名	工事名	地点数	路線名	工事名	地点数
名 神	大垣安八	7	道央道	米 里	1
東 名	焼 津	4		江 別 IC	1
中央道	諏 訪	1		野 幌	3
九州道	武 雄	4		江 別 太西	1
北陸道	湯 東 南	1		江 別 太東	10
	刈 羽	2		豊 幌	2
	曾 地	4		栗 沢 西	3
	柏 崎	1		岩 見 沢 西	1
道央道	江 別 TF	3		岩 見 沢 中	3
	岩見沢TF	4		岩 見 沢 東	5
	札 幌	4	合 計		65

② 盛土中央の沈下計であること。

③ 沈下の進行に影響を与えるサーチャージなどが行われていないこと。

④ 盛土高さが一定にもかかわらず、沈下曲線の変化の度合いが大きいものは除外する。

⑤ 観測位置付近で土質調査が行われていること。

このような吟味の結果、表-1に示す65地点を選定した。これらの地点の実測沈下量は、大垣安八の約30cmから、道央道米里の約470cmと多彩であり、また、地盤の性状も多種多様であることから、特定のデータに限定したものではなく、一般性のある検討と考えてよいものと思われる。

2.2 精度の評価方法

図-1は、時間の経過に伴う盛土高さと地表面沈下量の変化の模式図である。本検討では、予測法の精度の検討を次のような方法で行った。

① 盛土立上り後90, 180, 360日間を観測期間とみなし、その間の実測値を予測に用いる沈下

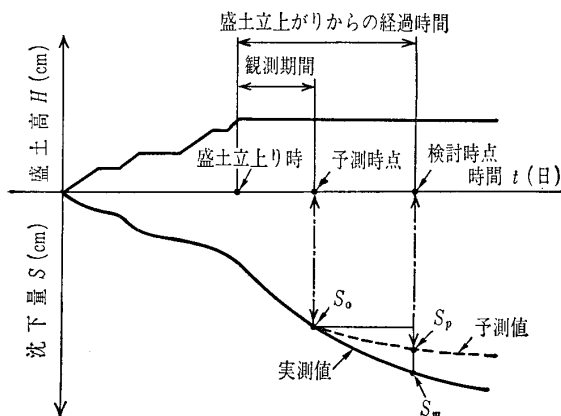


図-1 沈下模式図と用語の定義

ータとする。

② 予測する時点は盛土立上り後180, 360, 540, 720, 1080日の5時点とし、予測により得られた沈下量と実測沈下量とを比較することによって予測精度を評価する。

③ 精度の評価には、(1), (2)式に示す、誤差量および予測率を用いた。

$$\Delta S = S_m - S_p \dots\dots\dots (1)$$

$$K_t = \{(S_p - S_0) / (S_m - S_0)\} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

ΔS : 誤差量 (cm)

K_t : 予測率 (%)

S_m : 検討時点における実測沈下量 (cm)

S_p : 検討時点における予測沈下量 (cm)

S_0 : 予測時点における実測沈下量 (cm)

これらの式から明らかなように、誤差量が0に近いほど、予測率は100%に近いほど予測精度がよいということになる。また、誤差量が負になる、予測率が100%を超えるということは、予測沈下量が実測沈下量を上回っていることを示す。

2.3 予測における留意事項

予測は、直線回帰を行い最小二乗法により予測式を決定した。また、予測法の適用にあたって、次のような取扱いをした。

① 浅岡法

時間を離散化する際の Δt の取り方により予測値に違いが生じる。今回の検討では、 $\Delta t=30$ 日とした。

② 星埜法

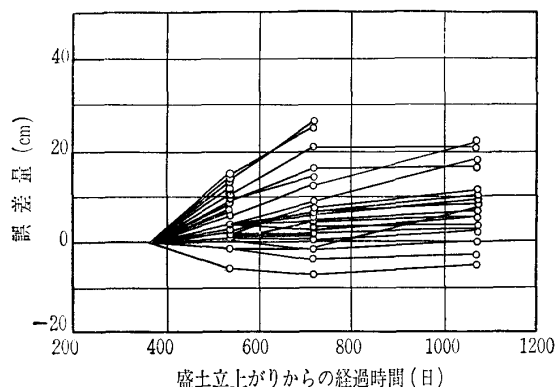
盛土の実際の载荷過程は複雑であるが、星埜法の場合、仮想瞬間载荷の開始点の t_0' 、 S_0' を仮定する必要がある。今回の検討では、盛土立上りまでの時間を T 、その時の沈下量を S とすると、 $t_0' = 7 \cdot T / 8$ 、 $S_0' = 3 \cdot S / 4$ を基本とし、不適当な場合にはトライアル計算を行って決定した。

なお、各予測法の概要については、参考文献によるものとし、ここでは記述しない。

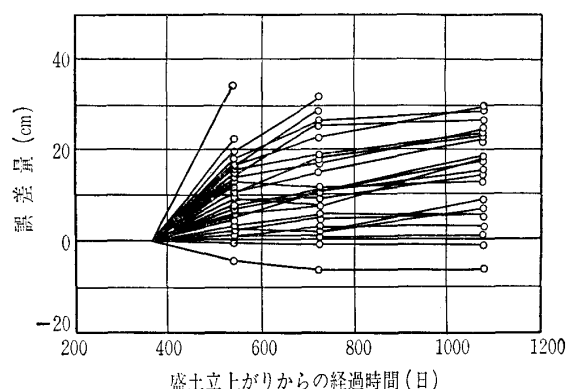
3. 各予測法の精度比較

3.1 解析結果の全体的な傾向

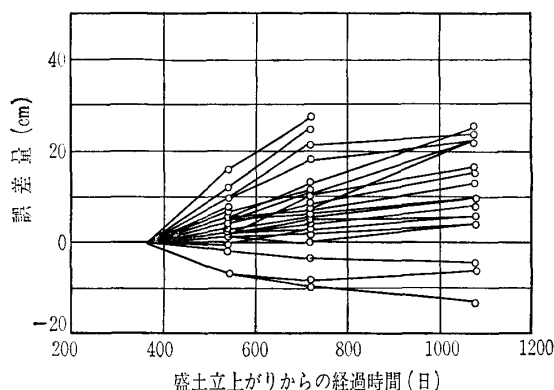
図-2～4は、観測期間360日における各予測法の誤差量を、検討時点(盛土立上りからの経過日数)ごとに示したものである。誌面の都合上、観測期間



図—2 双曲線法における誤差量の経時変化（観測期間 360 日）



図—4 星法における誤差量の経時変化（観測期間 360 日）



図—3 浅岡法における誤差量の経時変化（観測期間 360 日）

90日, 同 180 日の結果については省略しているが, ほぼ同様の傾向を示している。

これらの図からわかるように, 解析結果は各検討時点で大きくばらついており, 予測精度の判定が定量的に評価しづらい。そこで, 誤差量および予測率を, 平均値 μ , 標準偏差 σ を用いて表すこととする。すなわち, $\mu \pm \sigma$ の範囲内に全データのおよそ 70% が含まれることになり, この値の大きさと平均値に対するばらつきの程度が判断できることになる。

3.2 観測期間に対する予測精度

図—5 は, 観測期間による誤差量および予測率の変化を, 各手法別に, 盛土立上り後 540, 720, 1080 日の時点のもので比較したものである。図から以下のことがいえる。

- ① 予測法に関係なく, 予測に用いるデータの観測期間の長さが予測精度に大きく影響する。観測期間が長くなるほど誤差量は小さく, 予測率は 100% に近くなり, 予測精

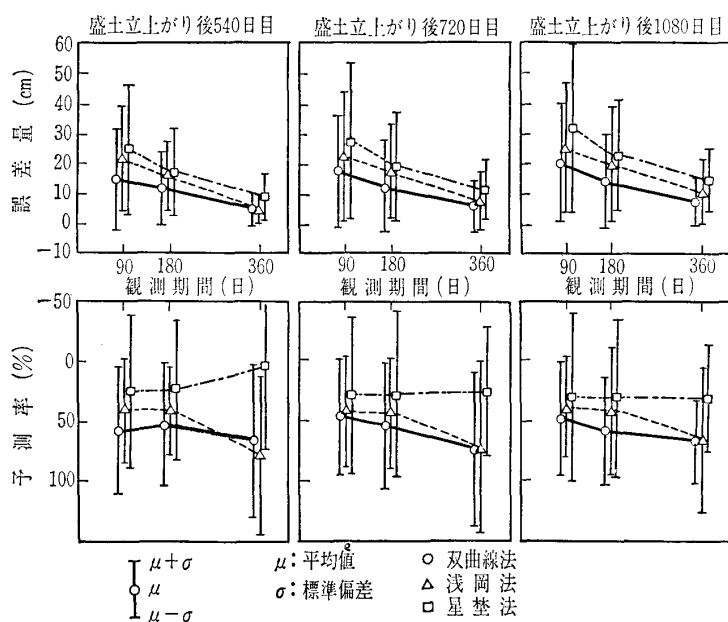
度が向上する。

- ② 各予測法の比較では, 双曲線法の予測精度が最もよく, 次いで浅岡法, 星法の順となっている。

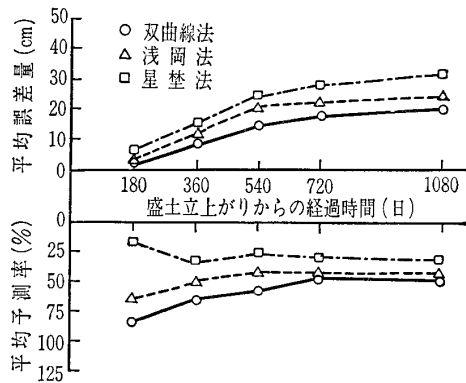
- ③ 観測期間の長さおよび予測法にかかわらず, 誤差量は正の値, 予測率は 100% 未満の場合がほとんどであり, 実際の沈下量よりも小さく予測することが多いといえる。

- ④ 誤差量のばらつきは, 予測法間で大きな差はみられない。これに対して予測率のばらつきは, 星法が他の 2 法に比べて若干大きい。

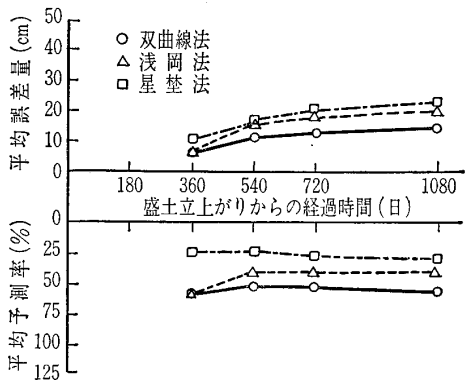
- ⑤ 各予測法とも, 誤差量のばらつきは観測期間が長くなるに従い小さくなるが, 予測率は観測期間および検討時点にかかわらずほぼ一定である。



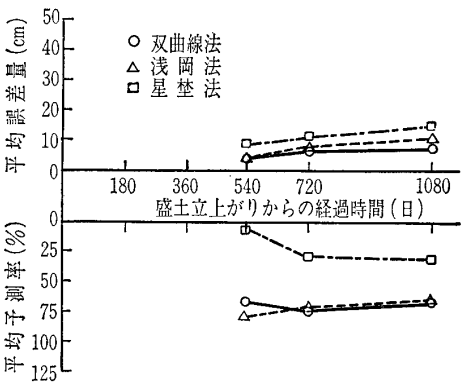
図—5 観測期間による精度の比較



図—6 誤差量および予測率の経時変化（観測期間90日）



図—7 誤差量および予測率の経時変化（観測期間180日）



図—8 誤差量および予測率の経時変化（観測期間360日）

3.3 検討時点に対する予測精度

図—6～8は、誤差量および予測率の、検討時点による違いを、観測期間ごとに示したものである。前節で示したように、各予測法間でばらつきにさほど差がないことから、図には平均値のみを示してある。

観測期間が長くなると予測精度がよくなることはすでに述べたが、そのことはこれらの図からもうかがえる。

これらの図から、以下のことがいえる。

① 各予測法とも、誤差量は遠い時点の予測をし

ようとするほど大きくなる。これに対し予測率は、検討時点にかかわらずほぼ一定の値を示している。

② 予測精度は双曲線法が最もよく、次いで浅岡法、星埜法の順である。

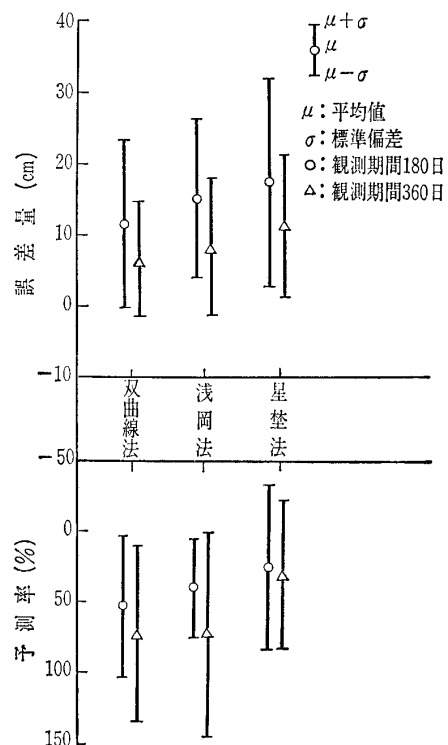
③ 検討時点に対する平均誤差量の増加傾向は、観測期間にかかわらず、各予測法とも盛土立上り後720日と1080日の間の変化は小さい。

図—9は、観測期間180日、360日における、予測時から360日後（すなわち、観測期間180日の場合は盛土立上りから540日目、観測期間360日の場合は720日目）の誤差量および予測率を比較したものである。

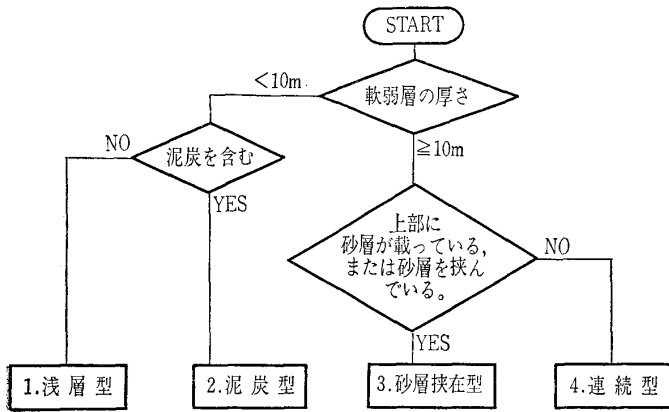
この図からわかるように、予測時から同一期間経過した場合でも、観測期間が長いほど予測精度がよい。また、双曲線法の精度が最もよい傾向も変わらない。一方、予測値のばらつきをみると、誤差量については、予測法にかかわらず観測期間が長くなれば小さくなるが、予測率は逆にばらつきが大きくなる傾向がみられ、特に浅岡法でその傾向が著しい。

3.4 地盤タイプと予測精度

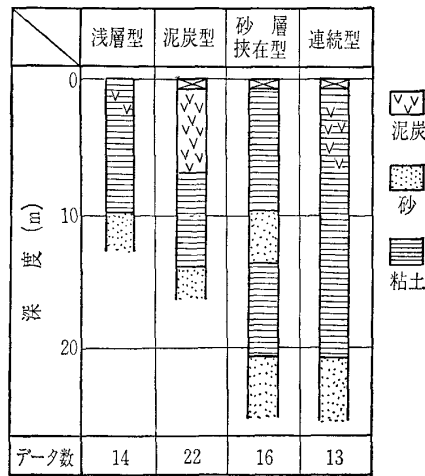
沈下の形態が、軟弱地盤の成層状態により異なることは周知のとおりである。解析対象65地点の地盤の成層状態を図—10の条件を用い、図—11に示すよ



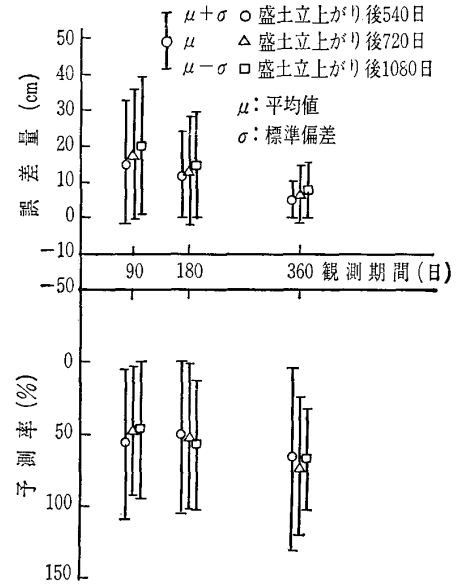
図—9 予測時から1年後の精度の比較



図—10 地盤タイプ分類の流れ図



図—11 地盤タイプの模式図



図—13 双曲線法の観測期間による精度の変化

表—2 軟弱地盤の目安⁶⁾

地盤	泥炭質地盤および粘土質地盤	砂質地盤
層厚	10m未満	10m以上
N 値	4 以下	6 以下
q_u (kgf/cm ²)	0.6 以下	1.0 以下
q_c (kgf/cm ²)	8 以下	12 以下

なお、泥炭かどうかの判断は、下記によって行う。

- ① 自然含水比 $w_n > 200\%$
- ② 有機物含有量 $Lig > 20\%$

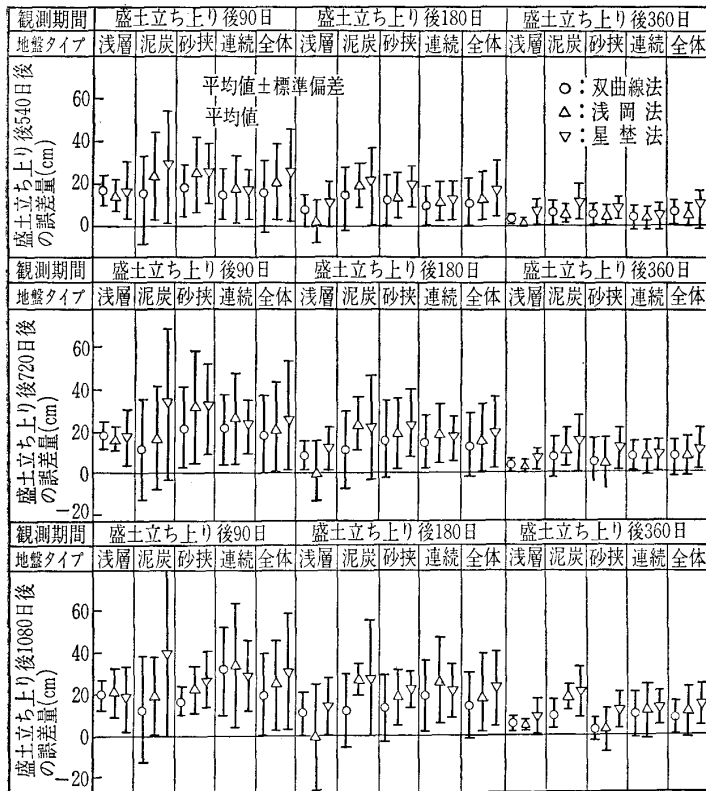
うに分類した。図—10の軟弱層厚の判断基準は、表—2⁶⁾によった。

図—12は、観測期間 90～360 日のデータに各予測法を適用し、盛土立上り後 540～1080 日の沈下量を予測したときの、各地盤タイプ毎の誤差量を示している。

全体的な傾向として、どの地盤タイプにおいても、双曲線法の誤差量が小さい。また、地盤タイプ別では、浅層型の誤差量がどの予測法においても小さく、泥炭型は平均誤差量が小さい場合でもばらつきが大きくなる傾向にあるといえる。しかし、地盤タイプ固有の性質があったり、ある特定の地盤タイプにはこの予測法が適する、適さないといったような特徴はみられない。

4. 双曲線法の精度と適用性

前章の検討結果から、三つの予測法の中では、双曲線法が最も精度よく予測できるようである。そこ



図—12 地盤タイプ別の誤差量

報文—2235

で、ここでは双曲線法のみに着目し、さらにその精度と適用性について検討する。

図—13は、観測期間による誤差量および予測率の変化を、盛土立上り後540, 720, 1080日の時点で比較したものである。この図から、観測期間を長くすれば平均誤差量は小さくなり、誤差量からみた予測精度は向上する。しかし、平均予測率でみると観測期間の延長は予測精度の向上にさほど寄与していない。具体的には、観測期間を90日から360日にしたとき、平均誤差量は約3分の1になるが、平均予測率は観測期間90日での約50%が70%程度になるにすぎない。また、検討時点の違いによる平均予測率の傾向の違いはみられない。

予測率の定義式(2)式に、検討結果による平均予測率約50~70%を代入すると、次式が得られる。

$$S_m' = S_0 + (1.50 \sim 2.0) \times (S_p' - S_0) \dots\dots\dots(3)$$

ここに、

S_m' : 将来見込んでおくべき沈下量 (cm)

S_p' : 双曲線法による予測沈下量 (cm)

すなわち、盛土立上りから3年程度先までの沈下量を予測する場合には、双曲線法による予測沈下量の予測時点での沈下量からの増分($S_p' - S_0$)の1.5~2.0倍の沈下量を見込んでおいたほうがよい。

5. ま と め

これまで述べてきたことをまとめると次のとおりである。

- ① 実測値に基づく一般的な沈下予測法、すなわち、双曲線法、浅岡法、星埜法の中では、双曲線法による予測が最も精度がよい。
- ② 各予測法とも、予測沈下量は実際の沈下量より

り小さい場合がほとんどである。

- ③ 予測に用いるデータの観測期間が長いほど、誤差量からみた予測精度は向上する。しかし、予測率で評価すると、さほど精度が向上するとはいえない。
- ④ 各予測法とも、誤差量は遠い時点の予測をしようとするほど大きくなる。これに対し、予測率は検討時点にかかわらずほぼ一定の値を示している。
- ⑤ 盛土立上りから3年程度先までの予測に双曲線法を適用する場合、いつの時点の予測を行うかにかかわらず、予測沈下量の予測時点での沈下量からの増分の1.5~2.0倍の沈下量を見込んでおいたほうがよい。

以上、実測値に基づく沈下予測法の代表的な3法の予測精度の比較を行った。その結果からは、双曲線法が最も妥当であると判断されるが、精度の高い予測値を得るために留意すべき点が多くあることも明らかになった。よって、これらの知見が現地で適用する際の参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 宮川 勇：軟弱地盤と盛土，土と基礎の設計法（その3），土質工学会，pp.178~181，1963.
- 2) 星埜 和：最近における基礎の諸問題，土木学会誌，Vol.47，No.7，pp.63~67，1962.
- 3) 浅岡 顕：沈下~時間関係の信頼性解析，第13回土質工学研究発表会概要集，pp.277~280，1978.
- 4) 土質工学会：土質工学ハンドブック，p.180，1982.
- 5) 吉国 洋・井上年行・住岡宣博・原 久夫：現場計測法による圧密沈下予測法の特性について，土と基礎，Vol.29，No.8，pp.7~13，1981.
- 6) 日本道路公団：設計要領 第一集，第1編 土工，pp.179，1983.

(原稿受理 1992.9.21)