

榎青木建設 正会員○塩 隆久 星野 良二
同 上 正会員 永井 哲夫 小原 敏郎

1. はじめに

近年、都市及び周辺において建設工事に伴う周辺環境への影響に対する予測またはその解析はますます重要とされている。こうした中、地盤の沈下の問題に対しても、同様、地質調査・土質試験または各種計測等を用いた観測を行いそれらデータを基に解析を行ってきた。しかし、地盤沈下の予測に関しては、多くの時間と各種の計測が必要でありしかもその解析においては技術者の高度な技術的な判断が必要であった。そこで、本研究では、地盤沈下の予測の推定に、従来の土木工学的判断に加え、統計学的手法を適用することによってより高い精度に近づくことを目的とした。本文中、ある建設工事に伴う大型ダンプトラック走行道路周辺の民家の地盤沈下の実例を取り上げて本手法の適用を試み、地盤沈下の原因の絞り込みと沈下の予測式の構築と実データとの比較を行い本手法の有効性を検討した。

2. 統計学的手法（多変量解析）の概要

本論文で用いた多変量解析手法はマイクロコンピュータ用に開発された対話型プログラムmicro-CDAであり、「対象についての技術的知識」と「統計解析の本質的な意味の理解」との協力により、また、「多面的な解析の繰り返し」によってはじめて役に立つ情報が得られることを特徴とする。つまり、説明変数の候補が沢山あるとき、全部を使って重回帰式を作ることは好ましくなく、できるだけ少数の説明変数を選んで、予測力の高い重回帰式を作ることが大切である。本手法では担当技術者による「逐次変数選択法」が取り入れられており、その変数を取り込んだ予測式の良さの評価に、一般に変数を増せば残差平方和は必ず小さくなり寄与率（ R^2 ）は大きくなるが、ここでは寄与率から取り入れた説明変数の数 q に応じてペナルティーを引いた自由度調整済寄与率（ R^{*2} ）あるいはそのペナルティーを2倍にした自由度2重調整済寄与率（ R^{**2} ）を用いている。

$$R^2 = 1 - \frac{Se}{St}$$

$$R^{*2} = 1 - \frac{(Se/(n-q-1))}{(St/(n-1))}$$

$$R^{**2} = 1 - \frac{((n+q+1)Se/(n-q-1))}{((n+1)St/(n-1))}$$

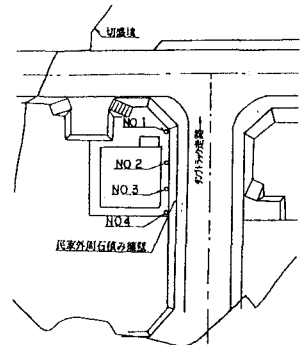
3. 本手法の適用事例

1) 沈下の状況

地盤沈下箇所は谷地に盛土された民家外周石積擁壁である。盛土高さが6.8m～4.0mで粘土を含んだ土丹の瓦礫混じりでN値が2～4、基盤は8m程度の粘土が分布（N値5～6）している。沈下は90年2月から92年11月に計測され、測点NO.1で-33mm, NO.2 -13mm, NO.3 -10mm, NO.4 -13mmであった。これらの位置は道路交差点に面しており、交差点に近い測点（NO.1）が最大の沈下量を示している（図-1）。図-1 沈下計測点の位置
また、この期間（91年7月～92年9月）付近の工事現場より残土搬出のための大型ダンプトラック10tonが測点NO.1～NO.4に面した道路を走行している。図-2,3に測点NO.1と測点NO.2の沈下量と経過日数の関係を示す。また図-4に測点NO.1での沈下量と通過ダンプトラック延べ台数の関係を示す。

2) 本手法の適用の目的

上記の沈下の状況の内容から、沈下の原因を①盛土部の圧縮沈下（主に自重による圧密に近いもの）と②交通荷重（特に大型ダンプトラック等の通過）等の外的条件による変形の2つにまで絞り込んだ



。しかし、これら2つの原因の沈下に及ぼす影響の度合いを上記のデータからは効果的に比較することはできなかった。そこで今回、統計学的手法を用いてその解析と考察を行った。

3) 解析および考察

沈下量に及ぼす幾つかの原因を説明変数として取り込んだ予測式を構築し、予測式の各係数と自由度2重調整済み寄与率およびF値を検証することによって、沈下に及ぼす原因の影響の度合いを考察した。ここに、F値とは、変数の有意性のためのF検定と定義され、F値の大きいもの程その説明変数が目的変数に大きく影響を及ぼしていることを表している。

まず、沈下に原因するものを、盛土あるいは基盤の圧縮（あるいは圧密）のように時間とともに沈下が起きるような時間的要因（経過延べ日数（日）： t ）と、外的な力が盛土体の沈下を引き起こすような外的な要因（タンク走行時期（台）： Nd ）に分けて考えた。ここに、沈下量（mm）を y とし、各測点毎の沈下量の予測式を求め（表-1）、次のような考察を得た。

- ①測点NO.1およびNO.2では、主にタンクの走行により促進されそれに時間($\log t$)に依存した圧密沈下が加わっている（F値31.9<150.6同じく7.99<44.69から分かる）。さらに、NO.1の方がタンクの影響による沈下現象が、NO.2よりも著しい（予測式の Nd の係数から分かる0.149>0.055）。
- ②測点NO.3及びNO.4ではタンクの影響と時間の影響は同じ程度であると考えられる（F値および予測式の係数から分かる）。

これらのことから以下のことが推測された。

③対象地盤では、谷部基盤地盤や

盛土の圧密沈下が未だ進行している。

- ④しかし、その量は小さく、タンクの走行により、かなりの沈下が生じている。

- ⑤そのために、NO.1ではタンクによる影響が非常に大きく生じている。

また、その後の沈下の実測値と今回求めた予測式の予測値との比較をして、その適合度を検証し予測式としての有効性も確かめた（表-2）。ここに、適合度（ R ）を、予測値（ y_2 ）と実測値（ y_1 ）の比（ $R=y_1/y_2$ ）で表しており、 $R=1$ に近いほど適合度が高いと評価できる。

4. おわりに

上記事例においては、その後これら解析結果を踏まえ地盤沈下の予測およびその対策を立てることに貢献できた。筆者らは、今後共こうした統計学的手法と従来の土木工学的固有技術と合わせ両立させることをより積極的に活用したいと考えている。

参考文献 芳賀敏郎：多変量解析入門，日本科学技術連盟，1986

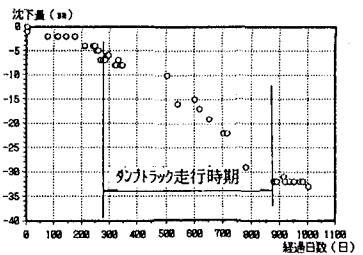


図-2 測点NO.1沈下量と経過日数

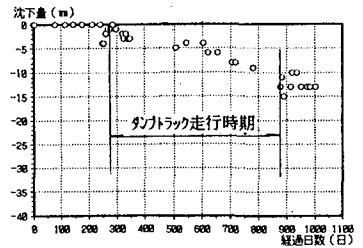


図-3 測点NO.2沈下量と経過日数

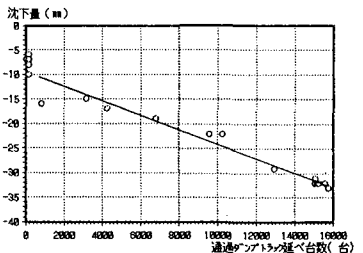


図-4 沈下量と通過タンク延台数

表-1 各測点の沈下予測式とその評価

測点 NO.	予測式	予測式の各係数			自由度2重調整 済み寄与率	F 値	
		定数項	$\log_{10} t$	$\sqrt{Nd}$		$\log_{10} t$	$\sqrt{Nd}$
1	$y = -17.047 - 9.538 \log_{10} t + 0.149 \sqrt{Nd}$	-17.047	9.538	0.149	0.946	31.9	150.6
2	$y = -6.729 - 3.345 \log_{10} t + 0.055 \sqrt{Nd}$	-6.729	3.345	0.055	0.837	7.99	44.69
3	$y = -9.912 - 5.419 \log_{10} t + 0.029 \sqrt{Nd}$	-9.912	5.419	0.029	0.742	17.84	9.77
4	$y = -9.686 - 5.671 \log_{10} t + 0.049 \sqrt{Nd}$	-9.686	5.671	0.049	0.883	26.46	41.94

表-2 予測値と実測値の適合度

測点	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
平均値 X	0.956	1.109	1.059	1.012
標準偏差 σ	0.193	0.380	0.256	0.251
変動係数 σ/X	0.202	0.342	0.241	0.248