

名古屋大学 正員 ○ 二宮 公紀

名古屋大学 正員 馬場 俊介

名古屋大学 正員 梶田 建夫

1. まえがき 軟弱地盤の上に建てられた構造物は、不等沈下を生じ構造物に重大な損傷が発生する可能性がある。特に、1次元に伸びる構造物や大型構造物において、重要な意味を持つことになる。従来は、不等沈下を避ける方向でこの問題に対処してきているが、そのためには経済面、施工面において多大な経費、労力を必要とする。ここでは、構造物はあらかじめ不等沈下することを想定し予想される沈下に対しても破損を生じないように設計すべきであるという主旨に沿って、不規則な地盤特性が構造物に与える影響の評価法を与える。

2. パワースペクトルを用いたバネ係数の評価 不等沈下を許容した上部構造物の設計ということを目指すため、基礎は数式的取り扱いが最も容易な Winklerバネモデルを使用する。地盤の沈下に影響を与えるものは地盤の弾性係数をはじめ、軟弱層の厚さ、地下水位などいろいろ考えられるがこれらすべてをバネ係数(場所によって値が異なる)で表わせるものとする。構造物としては、取り扱いが簡単な1次元のはりを考えている。バネ係数の分布はパワースペクトルを利用して求める。地震波の分析においては、パワースペクトルは卓越周期を知る上でも人工地震波発生のための直交正弦関数列の重みを求めるためにも有用な道具となっている。バネ係数の分布は場所軸上の関数であるが20点あまりの測定点さえあればパワースペクトルを求めることができ、バネ係数の分布の特性を次のようにして知ることがができる。振動数 $\omega_n$ の成分波を持つ平均パワーに因して(図1)

$$G(\omega_n) \Delta \omega_n = \frac{1}{T} \int_0^T k_n^2 \sin^2 \omega_n t dt \quad (1)$$

が成り立つことから、(1)式の積分を行い、 $T \rightarrow \infty$ とすれば

$$k_n = \sqrt{2 \cdot G(\omega_n) \cdot \Delta \omega_n} \quad (2)$$

となる。ここで、 $G(\omega_n)$ はパワースペクトルである。実際の設計にあたっては、直交正弦関数列の各成分波の形に分布するバネ係数を考えた場合のはりに生ずる最大モーメントの値を、パワースペクトル密度を重みとして重ね合わせて得られるモーメントにして用いる。位相差はパワースペクトルを考える場合には無視してよいので、逆にモーメントを最大にするような(最悪状態を与えるような)位相差を考える。

3. 不規則性の評価 不規則分布を示すバネ係数を持つ Winkler 基礎上のはりを最も簡単に取り扱おうとすれば、バネ係数の分布をそのまま用いてバネ上のはりの解析を行えばこと足りるが、地盤の不規則性の情報は一切得られない。そこで、ここでは、地盤の不規則性をバネ係数の場所によるばらつきをパワースペクトルで表わし、バネ係数の分布の中にどのような周期の正弦波が卓越している

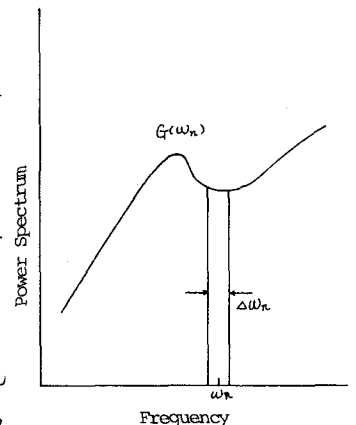


図1. パワースペクトル

かを知ることにする。このとき、個々の正弦波によって生ずるモーメント値を、その値が最大となるような位相に対して求めておくと、得られる設計基準値は「最も悪いコンディション」での位相差までカバーした極値となる。いま、構造物として両端固定のはりを考える。固定端以外の部分で、はりばねにより支持されている( $k(x)$ :バネ係数の分布)。このとき、はりのたわみを記述する微分方程式は、よく知られているように

$$EI y''''(x) + k(x) \cdot y(x) = q \quad (3)$$

と表わされる。ここに、 $y(x)$ ははりのたわみ、 $E$ は弾性係数、 $I$ は断面2次モーメント(当初一様分布と仮定する)、 $q$ は等分布荷重である。ここで、バネ係数の分布 $k(x)$ を、はりの全長を $l$ として

$$k(x) = k_n \sin(2\pi n x / l + \varphi) + k_0 \quad (n=1, 2, \dots) \quad (4)$$

と考える。 $k_n/EI = \text{const.}$ として種々の $n$ について式(3)を解き、モーメント分布を求める。

4. 正弦波の重ね合わせによるバネ係数分布の再現 地震波の解析の場合は、地震応答を支配する微分方程式を満たすそれぞれ独自の解が直交正弦関数列であるため、個々の正弦波に対する応答を重ね合わせることにより全応答が得られるが、弾性基礎上のはりの微分方程式(3)は、バネ係数 $k(x)$ が単独の正弦波のときと、それらの重ね合わせのもののときでは、その解が異なる。つまり、重ね合わせが有効でないが、はりの弾性係数 $E$ と地盤の弾性係数(つまり、バネ係数 $k$ )との間にはオーダー的に3桁以上の開きがあり近似的に重ね合わせが成立する。いま、周期の異なる2つの正弦波 $k_1(x)$ と $k_2(x)$ を考える。

$$k_1(x) = k_1 \sin(2\pi n_1 x / l + \varphi_1) + k_0 \quad (5)$$

$$k_2(x) = k_2 \sin(2\pi n_2 x / l + \varphi_2) + k_0$$

このとき、バネ係数の分布が $d k_1(x) + (1-d) k_2(x)$ で表わされるものと考え、 $d=0 \sim 1$ の値に対してモーメント増を計算する。以下に1例を示す。

5. 計算例と結果と考察 バネ係数 $k_0 = 400 \text{ kg/cm}$ のまわりに $k_n = 0.9 \times k_0$ の両端固定のはりについて行った。図2は各正弦波がはりに及ぼす影響を $k_n$ の影響を取り除いて示している。図3は $d k_1(x) + (1-d) k_2(x)$ によるモーメントの分布を示している。これより、正弦波の組み合わせで出てくるモーメントは安全側に属していることがわかり、これを使用できると思われる。なお、詳細は当日発表する予定である。

参考文献 1). D.A. Greenwood: Differential settlement tolerances of cylindrical steel tanks for bulk liquid storage, Settlement of Structures, PP.361-367, 1974  
2). 小堀為雄: 擬似地震動に関する応答スペクトル, 土木学会論文報告集, No. 198, 2, 1972

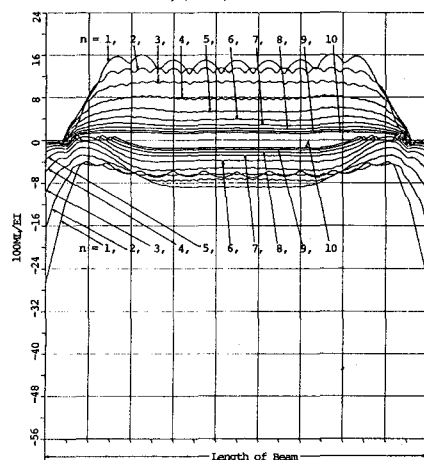


図2  $k_n$ によるはりのモーメント分布

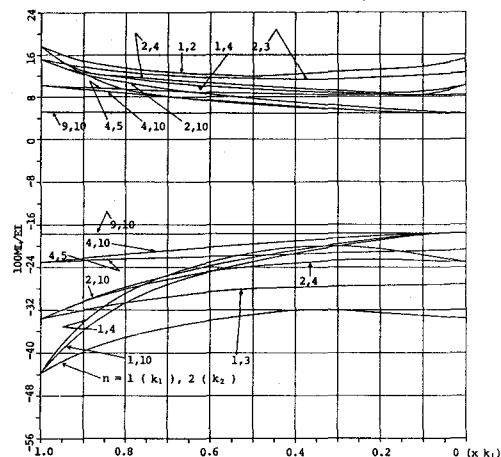


図3 2つの $k_n$ 比によるモーメント