

1. P C 構造物の振動的性質

現在 P C は従来鋼材を用いていた領域で使用されるようになってきている。これは経済的な面からだけでなく力学的性質も鋼材に似てきているためではないかと思われる。例えば、はり断面積は小さくとも大きな曲げモーメントに耐えることができる。また R C では想像もできないような大変位にも耐えうる等々の性質は、鋼で作られた構造部材の性質に非常に似てきている。その結果、都合のよい点は御承知のように数えられないほどあげられる。しかしながら振動外力に対しては若干の欠点も必然的に生じてしまった。すなわち P C 部材は R C にくらべて、設計荷重に対して断面積が小さくて済むため、曲げ剛性も小さくなる傾向にある。したがって、たわみやすい構造である。また規模も R C にくらべ大きいものが作られるようになってきた。その結果 P C で作られた構造物は R C で作られた構造物にくらべ一般に固有振動周期が長い。構造物は固有周期と一致した周期をもつ振動外力によって共振現象を起し、往々破壊に至るものである。従来の R C 構造物の固有周期は普通の地震振動にふくまれている周期 (0.1~1.0 sec 程度といわれている) より短周期であったため、このような共振という問題を抜きにして取り扱えたわけであるが、P C の場合にはこの周期が長くなって地震によっても共振を起こす可能性が生じてきている。これが P C の耐震上第一の欠点である。

また次も同様なことであるが、構造物が振動している場合その振動エネルギーが構造物内部で熱になったり、構造物の基礎から地面の中に波動となって逃げて行ったりして徐々に振動が停止するわけであるが、そのエネルギーの消耗の仕方が激しければ激しいほど、振動はすぐとまり、逆に言えばその構造物は地震がきても振動しない安全な構造物といえる。したがって、この振動減衰性も前に述べた固有振動周期と同様、地震に対しての構造物の共振を考えるうえで重要な指標である。

それでは P C 構造物の振動減衰性は他の構造物に比し、いかなる値であろうか。P C の振動減衰性の原因としては部材内部で熱に変わり消耗されるものと各結合部での摩擦による消耗、基礎からの逸散が考えられるが、これらは部材断面が小さいこと、構造剛性が小さいため地下への逸散が小さいことなどのため、R C 構造にくらべ小さくなっている。

* 東京大学生産技術研究所 岡本研究室

このように P C 部材によって作られた構造物は固有周期の長いこと、振動減衰性の小さいことのため振動の影響をかなり強く受けることが予想されるが、このことは筆者がある P C 橋梁の自動車による衝撃試験を手伝ったさい経験したことがある。すなわち満載トラックの後輪を数 cm の高さから落とすと人体にも橋がかなり大きく揺れているように感じられ、また減衰は悪いように思われた。

2. 動的解析法¹⁾

以上述べたように P C による構造は大きい構造の場合、振動ということを考えて設計した方がよいと思われるが、現在のところ通常の設計の過程ではこのような配慮はあまりなされていないのではないかと思う。耐震設計を動的考慮のもとに行なうのは今や世界的な傾向となっている。わが国でその点遅れているかに見えるのは、動的解析は十分なされる下地はあるのだが、構造物の動的終局強度に関する研究が不十分であることなどのため、ふみ切れないのではないかと思われる。次に現段階での動的解析について簡単にのべてみる。動的解析は震度法で代表される静的解析に比し、地震がきて構造物がゆれるという現象そのものを忠実にたどろうという考え方であるから、地震についても強さだけでなく性質も考えに入れなければならない。

すなわち次のような二段階から解析がなされる。

1) 構造物の建設地点にいかなる強さの、いかなる性質の地震を予想するか。

2) そのような地震に対し構造物はいかに振動し、いかなる応力を部材内部に生じるか。

1) の地震の強さおよび性質を予想するには次のような方法がとられている。

(1) 地震の強さ

a) 建設地点に最も影響をおよぼす地震の発地点・規模を推定し、その地点での地震強度を算出する方法。

これは過去の大地震の震源が、およそいくつかの区域に集中していることから、将来の大地震もその区域から発生するであろうという思想にもとづいている。地震学者が地震加速度 a と規模 M と震源地からの距離 d 、地震振動周期 T との間の実験公式の一試案として次式を出している (金井博士による)。

$$a = 10^{0.61M - 1.73 \log d - 1.47} \times (2\pi)^2 / T$$

b) 震度期待値 (河角博士による)

これは過去の大地震の被害から震度を推定、統計的に

処理して、ある地点では何年間に一度最大何ガルの地震が予想されるかを全国的な地図としたもので今日では技術者にも広く知られている。

c) その地点で経験された最大の地震と定める。すなわち関東地方では関東震災の強さで解析を行なうといったたくいである。

以上の推定法でいずれが採用されるかは現在のところ一定していないようである。しかし建設地点によって震度を変えろということ、全国一律に震度を定めるなどという方法にくらべて、はるかに合理的といえよう。

(2) 地震の性質

現在地震の性質、特にその波形に早い波が多く含まれているか、ノロノロの波かというように振動数領域での性質が地盤の表面にある沖積層に関係があるという、いわゆる卓越周期の考え方がかなり知られている。すなわち、ある地点ではその点の沖積層の性質によってその地点特有の周期の波が、その地点を襲った地震波の中に多く見られるというのである。この説が正しいとすると前にも述べた構造物の固有振動周期がこの卓越周期と一致していると共振を起して構造物があぶないということも考えられる。そこで次のようなその地点の卓越周期を探し出す方法が考えられて、現在行なわれている。

地盤は地表の交通その他なんらかの不規則振動外力によって常に微小な振動を行なっている。もし地表面層が前述のように地震波に特有の性質を与えるのなら、この常時微動に対しても同様な性質を与えるであろう。したがって、その地盤の卓越周期を知るためには、この常時微動を測定すればよいということになる。

次に被害を与えるような大地震は、衝撃的な波なのかまたは、多くの波からなっているのかなどということも大いに注目すべき問題であるが、強震記録の少ない現在まだ究明されていない。

(3) 構造物の応答²⁾

最近の電子計算機の普及によって構造物の振動計算は簡単に行なえるようになり、この関係の論文は地震工学研究論文の多くの部分を占めているほどである。解析方法は大別して2種類ある。

a) 過渡応答計算 運動方程式は一自由度系の場合次式で与えられる。

$$m \frac{d^2y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = -f(t) \dots\dots\dots(1)$$

ここに y : 構造物のたわみ, m : 質量, $f(t)$: 地震力
 k : バネ定数

解は
$$y = -\frac{1}{\omega} \int_0^t f(\tau) e^{-h\omega(t-\tau)} \sin \omega(t-\tau) d\tau \dots\dots(2)$$

ここに $p = \sqrt{\frac{k}{m}}$, $\omega = p \sqrt{1+h^2}$, $h = \frac{c}{2mp}$

(2) 式は構造物の固有振動周期と等価な p および減衰性を示す定数 h が求められれば、時間 t の経過に対する変位 y の値が簡単な積分計算によって求められることを示している。しかしながら (2) 式において必要

な $f(t)$ は地震加速度であるから前に述べた地震の性質の推定と大いに関連があるわけである。現在のところ強震記録は米国に多く、日本ではほとんどえられていないので $f(t)$ として米国の記録をそのまま用いることが行なわれている。これは前述の地表層の影響などのことを考えるとき、あまり適当なこととは思えない。日本では強震計が建築関係に、かなり広く設置されているが、土木構造物関係にはほとんどない。これでは将来とも $f(t)$ として使える記録のとれる見込みが全くなくさびしい限りである。

(4) 複雑な構造の場合

1) 構造が複雑な場合には簡単に一自由度系と考えるとは不可能であるが、その系の固有振動に関する振動はこ周期減衰定数、形状が判明しかつ減衰が小さい場合に各固有振動は独立となり (1) 式と同一形式の連立式に帰着される。ただその固有振動に関する性質は数値計算、模型実験、既設構造物における実測などによって定めねばならない。

2) 構造が連続体の場合、もちろん 1) の方法でも可能であるが、振動方程式 (偏微分方程式) を差分に書きかえ Step by Step に計算を行なって応答を求めることも行なわれている。この方法は特に構造物が弾性限を超えるような大振動を起したときの解析に有効である。

b) 定常応答計算 (1) 式の $f(t)$ は過渡的な現象であっても構造物が微小振動を行なっているかぎりフーリエ積分によって定常振動力に変換できる。その結果、次式のように簡単に応答を計算できる。

$$S(\omega) = E(\omega) \cdot Y(\omega) \dots\dots\dots(3)$$

ここに $S(\omega)$: 構造物の振動変位のフーリエ積分

$E(\omega)$: 地震動変位のフーリエ積分

$Y(\omega)$: 構造物の外力の振動数と増幅率の関係

(3) 式によって共振現象など定性的な問題は十分評価できるが、変位そのものを求めるためには、さらに次の積分を行なわねばならない。

$$y^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{t\omega i} d\omega \dots\dots\dots(4)$$

次に $f(t)$ が確定したものとして与えられないで統計的なもので与えられるとき、例えばその地点にくる地震波はいつも同一の波形ではないが大体 0.3 sec の周期が卓越しているといった場合、その地点の構造物の変位は大体どの程度の範囲内に収まるかを調べるには次式による³⁾。

$$\left. \begin{aligned} S'(\omega) &= E'(\omega) \cdot |Y(\omega)|^2 \\ y^2 \text{ の平均値} &= \int_0^{\infty} S'(\omega) d\omega \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

ここに S' , E' は振動のパワー スペクトル

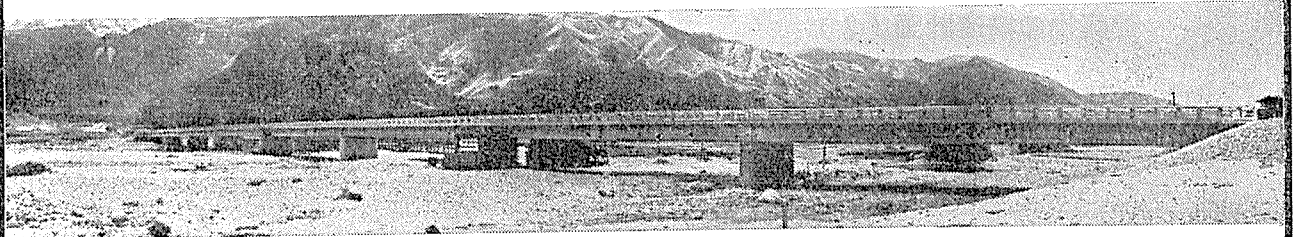
参 考 文 献

- 1) 岡本舜三:「地震力を考えた構造物設計法」(新版)第2, 5, 8章を主として参照
- 2) 同 上:第6章を主として参照
- 3) 文部省統計数理研究所:「不規則振動のスペクトル解析」昭36年および昭37年度講座

1963. 2. 27・受付



武田橋(山梨県)

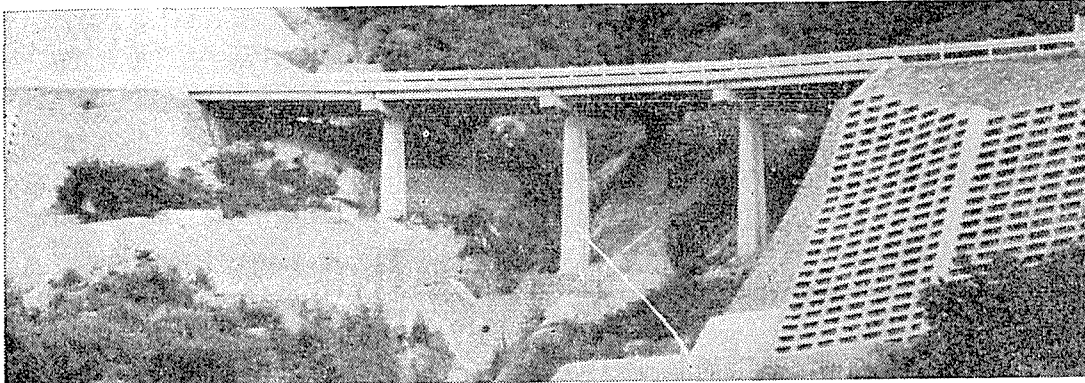


L=337.0 m W=4.5~5.5 m TL=20 t

ピーエスコンクリート設計施工並に製作 日本ピー・エス・コンクリート株式会社

顧問 加賀山之雄 顧問 稲浦鹿蔵 取締役社長 有馬義夫

東京営業所 東京都千代田区大手町1丁目4番地 (大手町ビル3階362号室)
 電話東京 201-8651 (代)
 大阪営業所 大阪市北区堂島上2丁目39番地 (毎日産業ビル別館5階)
 電話大阪 361-7797
 名古屋営業所 名古屋市中村区広井町2丁目54番地 (交通ビル5階52号室)
 電話名古屋 54-6536
 福岡営業所 福岡市天神町3番地の1 (福岡三和ビル6階)
 電話福岡 74-9426



箱根パイプ方式PC構造物

プレストレスト コンクリート製品の製造と建設工事の設計施工



日本鋼弦コンクリート株式会社

取締役社長 仙波 隆

本社 東京都中央区銀座東1丁目3番地 電話 (561)0842~3
 9301~4(交換)
 営業所 滋賀(Tel甲西147) 天竜(Tel磐田2330) 松本(0263-3-0143)
 工場 多摩工場(Tel 04236-2681~3) 滋賀工場・天竜工場・松本工場