

京都大学防災研究所 正員 ○土岐憲三

京都大学工学部 正員 石黒良夫

地震動に対する構造物の応答は入力である地震動に直接支配されるから、応答の量的評価は常に入力地震動との関連において考えられる必要があり、構造物の地震応答解析においては入力地震波形の適切な設定が重要である。このような地震動の設定に際しては構造物の建設される地盤の力学的特性を十分に反映し得るような広範囲を選択の余地のあるものでなければならぬ。しかしに地震動の周波数特性と地盤の振動特性とは密接な関係にあることが知られており、こうした地盤の特性は地震波形の周波数領域の特性として具現化することができるが、時間領域における地震動の非定常性をめづら、強さや周波数特性の時間的移り変わりは実際の地震記録についての解析結果に基づいて適当な仮定をしなければならぬ。実際の地震動によって得られる地震記録には各種の実体波や表面波による波動が混在して現われており、震源距離や規模によってそれぞれがP波、S波、表面波と区別できる場合もある。本文はこうした地震動の非定常性と周波数特性との関係を、2, 3 の実地震記録について調べ、地震動の解析的表示との関連において検討を行なったものである。

地震波形の包絡線 地震波形 $f(t)$ が定常確率過程 $g(t)$ と時間に関する確率関数との積で表わされるものと仮定し、地震波形の包絡線 $\psi(t)$ を次式で定義する。

$$\psi(t) = [E\{f^2(t)\}]^{1/2} / [E\{g^2(t)\}]^{1/2}$$

定常確率過程 $g(t)$ の r.m.s. は定数と考えてよいから、上式は地震波形の r.m.s. を求めることに帰着するが、確率過程の観測からは地震記録は一つの sample function にすぎないので、単一の地震波形から包絡線 $\psi(t)$ を集合平均として求めることはできない。そこで、これに変わる方法として地震波形に対して移動平均による平滑化の方法を用いた。すなわち地震波形 $f(t)$ の継続時間を t_d 、平滑周期を T_m とするとき、矩形パルス $P_T(t)$ を用いて包絡線 $\bar{\psi}(t)$ を次式で表わす。

$$\bar{\psi}(t) = \left[\int_0^{t_d} f^2(\tau) P_T(t-\tau) d\tau \right]^{1/2}$$

ただし $\begin{cases} [\psi(0) - \psi(2t)] / 2t, & (T_m > t > 0) \\ P_T(t) = \begin{cases} [\psi(t+T_m) - \psi(t-T_m)] / 2T_m, & (t_d - T_m \leq t \leq T_m) \\ [\psi(2t-t_d) - \psi(t_d)] / 2(t-t_d), & (t_d > t > t_d - T_m) \end{cases} \end{cases}$

また、 $\psi(t)$ は unit step function である。

図-1 の a) は無次元卓越振動数が 10, 分散が

1/2 の定常確率過程と確率関数との積で表わした地震加速度の sample function であり、同じく b) 図はその包絡線を示したものである。同図中の破線は集合平均として解析的に算出される既知の包絡線であり、他は上記の方法によって求めたものである。無次元の平滑周期 T_m^* が 1 の場合の包絡線は集

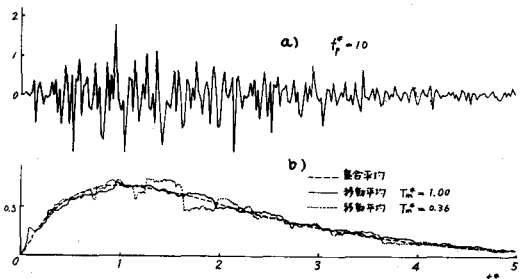


図-1 模擬地震波形とその包絡線

合平均による曲線によく合致しており、卓越周期の約 10 倍程度の平滑周期を持つ移動平均を行なうことにより、地震動の強さの時間的変化を表わす包絡線の推定が十分に可能になることがわかる。図-2 は El Centro, May 18, 1940, EW component と Taft, July 21, 1952, SE III component の地震記録 28 秒間について、上記の方法により 3 通りの平滑時間に対して求めた包絡線を示したものである。いずれの地震記録についても、平滑周期 T_m が 4.0 秒にはかなりなめらかな曲線であり、卓越周期はそれぞれ 0.5 秒、0.33 秒であるから、これらの結果からも卓越周期の約 10 倍程度の周期を持つ移動平均による平滑化が包絡線を求めるには適当であると思われる。

地震波形の定常化 2つの実地震記録について先に得た包絡線で原波形を除して定常化した波形のフーリエスペクトルと原波形のスペクトルとを図-3 に示した。いずれの地震についても、定常化された波形のスペクトルのレベルは原波形のそれよりも大きい。これは原波形を包絡線で除したことにより、原波形の振幅の小さい部分が拡大されて、それがスペクトルに寄与したものである。しかるにスペクトルの形状にはほとんど差異が認められず、わずかに Taft の場合の 12~13 c/s 付近でのスペクトル値が 2~3 倍になっている程度である。以上のことから El Centro, Taft などの代表的強震記録には、波動の種類と相異による周波数特性の時間的変化はほとんど認められず、一つの地震を通じてそのスペクトル構造はほとんど一定であり、ただその強さだけが時間的に変動するものと考えるべき。こうしたことは地震動の設定に際して、一定の周波数特性を有する定常過程に、地震動としての条件を満足するような確率関数を用いて解析的に表示できることを裏づけるものである。

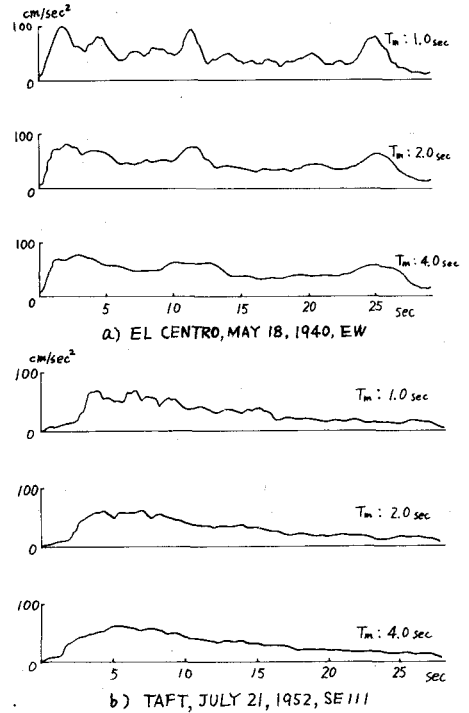


図-2 実地震波形の包絡線

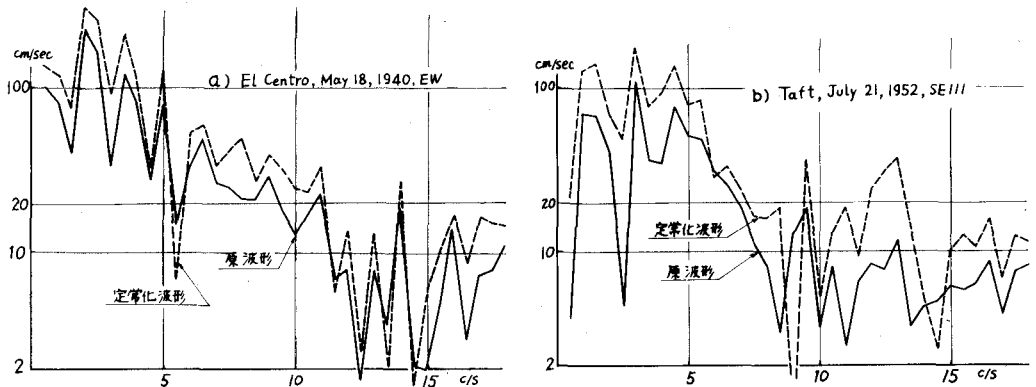


図-3 波形の定常化によるスペクトルの変形