

本州四国連絡橋公団

正 員 加島 延行

建設省土木研究所耐震研究室

正 員 川島 一彦

宮崎大学工学部

正 員 原田 隆典

1. まえがき

地震時における地盤と構造物の動的相互作用の問題は、次の2つの問題に分解することができる。

(1) 基礎の寸法効果による地震動の拘束の問題 (有効地震動)、(2) 基礎の振動エネルギーが地盤に逸散したり地盤が基礎の運動に抵抗する問題 (動的復元力)。従来は、第2番目の動的復元力の問題が中心テーマとしてよく研究されてきているが、結局、これは、基礎の固有周期と減衰定数を推定する問題となる。この問題に関しては、実務設計において、一定の手順化された方法が示されているが、かなりの安全率と工学的判断が見込まれている。したがって、示方書に示された方法から得られた値と実測値との対応は必ずしもよくないのが現状である。他方、(1)の有効地震動の問題は、十分な研究がなされていないが、(1)と(2)の問題を同時に考慮することにより初めて地震時における地盤と構造物の相互作用を考慮したことになる。そこで、(1)の問題を応答スペクトルに組み込むことにより地盤と構造物の相互作用を実務設計に取り込む方法を考察したので、その概要を報告する。

2. 有効地震動の概要

有効地震動 (U_g , φ') は、「自然地盤の地震動」とは異なり、剛体基礎の幾何学的条件により、基礎周辺地盤の地震動が拘束され、変形されるために生ずる地震動で物理的には、「質量が零の基礎の地震応答値」と定義されている。有効地震動は次のようなパラメーターの関数として与えることができる。

$$\dot{U}_g(t) = f(H, a, h, G_s, t) U_g(t) \quad (1)$$

$$\varphi'(t) = g(H, a, h, G_s, t) U_g(t)$$

ここに、 U_g は自然地盤の地表面の地震動である。 a , h , G_s に関しては図-1を参照。 t は時間。具体的な関数の形は、上述した有効地震動の物理的な意味にしたがって実験や有限要素法により決めなければならないが、自然地盤の地震動に比べ、有効地震動は短周期成分の少ない波形となることが明らかになってきている。

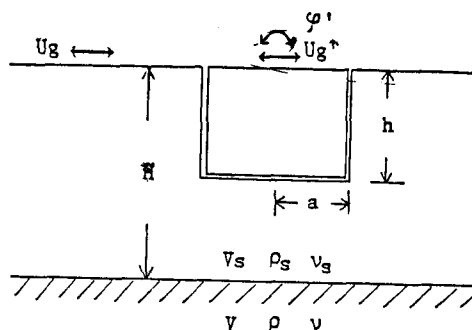


図 - 1 地盤 - 構造物 モデル

表 - 1 計算に用いた基礎 - 地盤系の諸定数

	寸 法			地 盤 定 数					
	a	h	H	V_s	ρ_s	ν_s	V	ρ	ν
	m	m	m	m/sec	kg.sec ² /m ³		m/sec	kg.sec ² /m ³	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
大型 ケー ソ ン 基 礎	(1) 18.80	1.0	200.0	1000	240	0.30	1000	240	0.30
	(2) 41.10	10.0	70.0	1000	220	0.30	1000	220	0.30
	(3) 54.00	65.0	65.0	500	200	0.40	700	210	0.30
	(4) 24.00	25.0	45.0	500	200	0.40	500	200	0.40
	(5) 24.00	27.0	27.0	400	200	0.40	700	210	0.30
	(6) 54.00	54.0	54.0	400	200	0.40	700	210	0.30
一 般 道 路 基 礎	(7) 2.00	17.5	17.5	100	150	0.43	280	180	0.47
	(8) 2.30	13.8	13.8	180	180	0.43	280	180	0.47
	(9) 4.60	21.0	21.0	286	190	0.43	330	200	0.47
	(10) 3.44	33.0	33.0	200	170	0.43	350	180	0.47
	(11) 4.70	15.0	15.0	200	180	0.43	300	180	0.47
	(12) 6.00	35.4	35.4	170	170	0.43	300	180	0.47

3. 試算例

図-1と表-1に示すような大型ケーソン基礎と一般道路橋ケーソン基礎を対象とした基礎-地盤系について、地表面レベルにおける自然地震動の地震動 $U_g(t)$ と有効地震動 $U'_g(t)$ 、

ϕ' を計算した。自然地震動の地震動は、図-2の太線で示す応答スペクトルに合致するように人工的に作成した〔2〕。この波形に式(1)の関数として、原田らにより示されたものを用いて有効地震動を作った。表-1に示す12ケースの基礎-地盤系に対する有効地震動の応答スペクトルを図-2に示す。比較的太い実線で示す大型ケーソン基礎に対応する応答スペクトルでは、自然地震動の地震動のスペクトル(太実線)にくらべると、約1秒以下の短周期領域ではスペクトル値はかなり低減されているのが認められる。他方、細い実線で示す一般道路橋ケーソン基礎を対象としたものでは、この傾向はあまり顕著ではなく、周期帯によっては、むしろ、自然地震動の地震動スペクトルよりも大きくなる傾向が見られる。このような特徴を整理するために、式(2)に示すような自然地震動の地震動の応答スペクトル S_a と有効地震動の応答スペクトル S'_a の比率を計算した。

$$S'_a = \alpha(H, a, h, G_s, T) S_a \quad (2)$$

この α の値を図-3に示す。一般に比率は、基礎-地盤系の諸定数や固有周期 T によって変わるが、大型ケーソン基礎と一般道路橋ケーソン基礎では上述したような違いが見られる。この違いを特徴的に示すと、図-4のように比率 α を与えることができよう。したがって、図-4のような係数 α を自然地震動の地震動の応答スペクトルに乗じるにより、有効地震動を考慮した応答スペクトル S_a を計算し、これに別途動的復元力等より求まる基礎の固有周期と減衰定数を用いて、動的相互作用を考慮した地震力を算定することができる。今後より詳細な検討をする予定である。なお、本研究は、土木学会本四連絡橋耐震・地盤に関する調査研究小委員会(委員長、久保慶三郎、東京大学名誉教授、埼玉大学教授)、耐震分科会(主査、栗林栄一、豊橋技術科学大学教授)で審議されているもので、委員および関係者に深く謝意を表する。

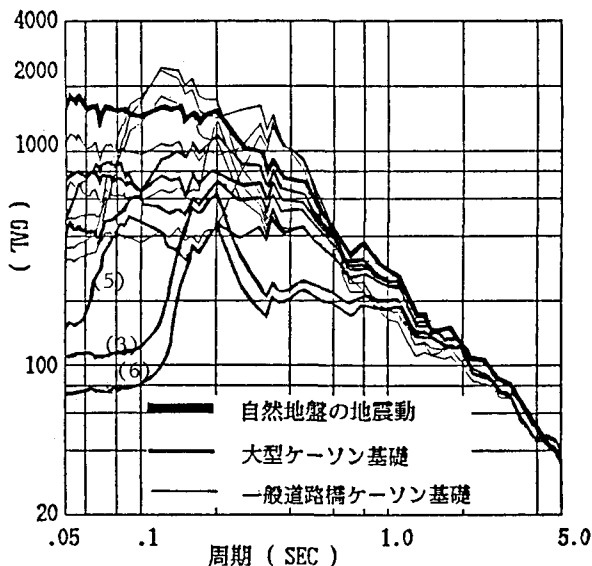


図-2 応答スペクトル

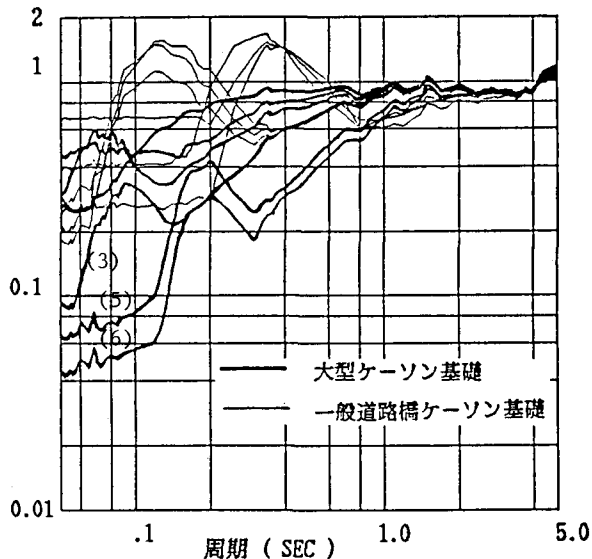


図-3 応答スペクトルの比率

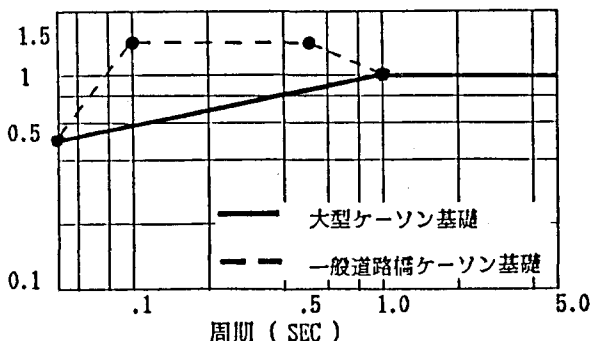


図-4 大型ケーソン基礎と一般道路橋ケーソン基礎の応答スペクトルの比率の近似