

京都大学工学部 正員 山田 善一  
 八幡製鉄にK. 正員 伊佐隆善  
 京都大学工学部 正員 井汲 久

概説

つり橋はたかいた剛性の異なる構造要素から成りたっているが、これまでのつり橋の地震応答解析に関する一連の研究の結果(文献(1),(2))、つり橋の地震応答解析においては近似的方法として、つり橋全体としての構造系からタワー・ピアーのみをとり出して、ケーブルおよび補剛桁の影響はタワー頂部の適当なスプリングと鉛直力でおきかえてよいということかわかっている。本研究においてもこの立場からタワー・ピアー系の振動のみに注目して、その剛性の低い橋軸方向の地震応答特性を模型実験から求めようと試みたものである。

本実験では定常強制振動によって系の基本的な振動特性を求めると同時に、系の地震応答におよぼす構造減衰の影響、基礎地盤の弾性および弾塑性の効果求めた。また定常ランダム振動およびEl Centro地震記録による応答から、タワー・ピアー系の強震時の応答特性を解析しようとするものである。タワー頂部が自由の場合の振動性状についてはすでにJapan Earthquake Engineering Symposium 1966で発表した(文献(3))。本模型実験はタワー頂部がCableで支持された状態について行ったものである。

模型

本研究に用いた模型は、縮尺1/200のタワー・模型である。原型と模型の主要諸元を表-1に、また模型は図-1に示す。測点番号を○印でかこんだ数字で示す。

模型でタワーの減衰機構を再現するため、タワーのシャフトに添接板を添えホルトナットでこれ

図-1 模型概略図

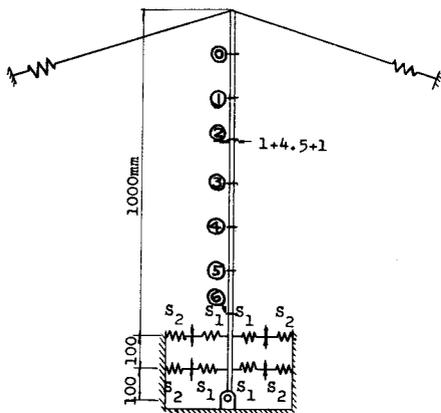


表-1 原型および模型の主要諸元

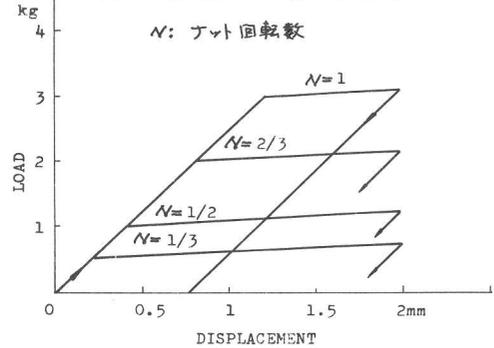
物理量	原型	模型
塔 高	200m	100cm
断面二次モーメント	(平均) $40.2\text{cm}^4$	$0.0435\text{cm}^4$
総 重 量	7500ton	3.124 kg
ケーブルのバネ定数	18938 ton/m	14.9kg/cm
ケーブル反力	11375 ton	4.7kg
ピアー寸法	径40φ×55高さ75m	—
基礎の回転バネ定数	$k_R = 3.1416 \times 10^8$ ton m ( $E = 4500\text{kg/cm}^2$ )	$k_{Rm} = 75600\text{kgcm}$ Spring 1
	$0.3927 \times 10^8$ ton <sub>2</sub> m ( $E = 530\text{kg/cm}^2$ )	8800kgcm Spring 2

を締めつけて、その締めつけトルクによって模型タワー部の構造減衰量を調節するという方法をとった(文献(3))。

次に基礎地盤の弾性および弾塑性を現す模型のメカニズムは図-1に示すようにタワーを直接支持する第1のスプリングと摩擦機構を併せてそれに直列につまがれた第2のスプリングとで表した。基礎地盤の ductility はその摩擦力で調節するか、その摩擦力は垂直力を与えるナット回転数によって調節した(ナット回転数による模型地盤の復元力特性のつかいを静的試験<sup>験</sup>求めた結果を図-2に示す(文献(5))。

模型は写真に示すように、電動型振動子によって加振される油圧支持水平振動台上に加振した。

図-2 模型地盤の復元力特性



### 構造減衰がタワーの必ずみ振幅の制御におよぼす影響

模型の構造減衰から原型の構造減衰の定量的評価はできないが、その機構から考え2定性的判断は下せる。図-3は上端フリーの状態にして基礎が弾性支持のもとで行った1st modeの減衰自由振動試験から得た模型タワー部の減衰機構による減衰特性を、タワーベース近かり測点⑥の必ずみ振幅との関係で示した図である。これから本模型の構造減衰機構は一般のその特性とかなりうまく表し、トルク値により減衰効果もうまく制御されていることがわかる。

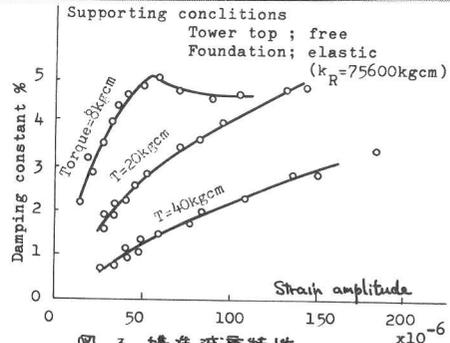
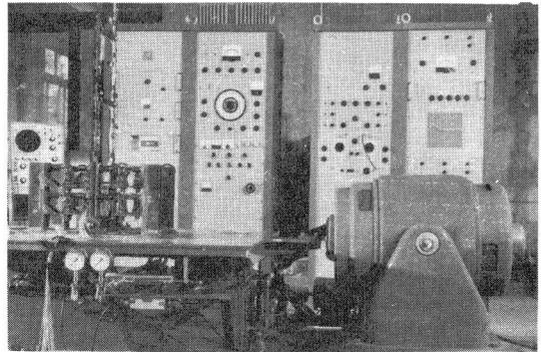


図-3 構造減衰特性

図-4は基礎が固定または弾性支持された状態において、構造減衰は共振必ずみ振幅の制御にかなり有効に働いていることを示すものである。以上のようことから減衰の集中する位置およびトルクの締めつけトルクを適当に選べば模型の構造減衰もかなり自由に制御できることがわかる。

### タワー・ピラー系の地震応答におよぼす基礎地盤の影響

地震時の系の挙動は支持条件である基礎地盤の力学的性質に強く影響される。基礎地盤は一般に弾性または弾塑性の力学的性質を有するもので、したがって系は地震時にロックインク振動をおこす。このことは系の固有周期を長くすること、地盤のロックインクバネによる緩和効果や地震エネルギーの地下逸散、地盤の弾塑性復元力の履歴によるエネルギー吸収など、タワーのレスポンスに大きな

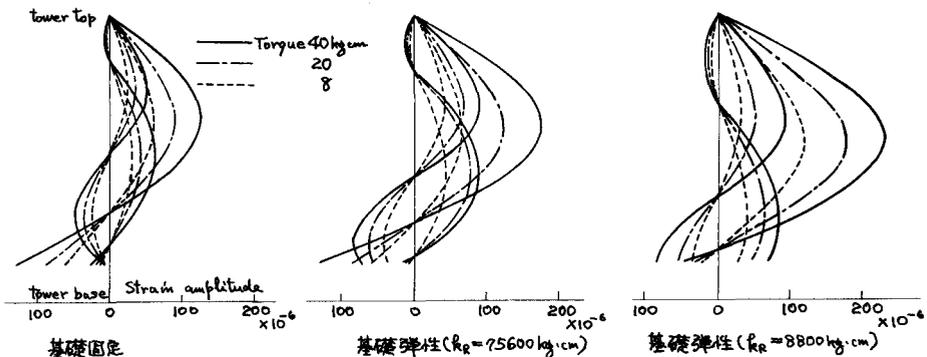


図-4 基礎の固定度および構造減衰の影響

影響をおよぼす。

図-4から基礎が固定または弾性支持のとき、基礎の固定度によるモードのちがいがわかる。また表-2は周期への影響を示したものである。これらから基礎の固定度によってモードおよび共振振動数が大きくかわることかわかる。モードがかわるということはタワー部におけるひずみ振幅の最大値の生ずる位置がかわるということであり、また共振振動数がかわるという事は地盤の卓越周期とも関係してくるから、基礎の固定度を把握する事は耐震設計上非常に重要であることかわかる。

表-2 基礎の固定度が周期におよぼす影響

	Supporting Conditions of Foundation		
	$k_R=75600\text{kg/cm}$	$k_R=8800\text{kg/cm}$	fixed
1st Mode	8.910	10.66	11.74
2nd Mode	17.98	19.99	22.43
3rd Mode	31.07	36.72	52.94

Torque 40kgcm  
(Exciting accel. 0.20g)

図-5は基礎の弾塑性効果による応答共振ひずみ振幅の変化を示したもので、表-3は対応する ductility factor である。一見して、基礎地盤の復元力の弾塑性履歴によるエネルギー吸収がタワー

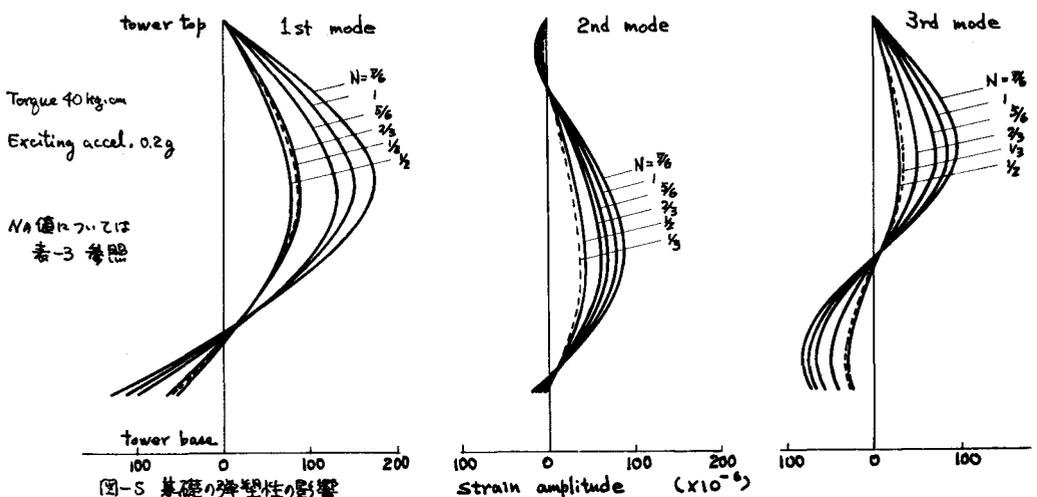


図-5 基礎の弾塑性の影響

の歪応答を強く制御していることがわかる。

表-3 Ductility factor

	1st Mode	2nd Mode	3rd Mode
N=1/3	7.5	6.0	7.4
1/2	5.1	3.8	3.2
2/3	4.1	2.3	2.6
5/6	3.3	1.6	2.1
1	3.1	1.6	1.7
7/6	1.8	1.6	1.7

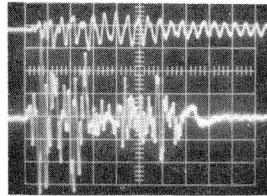
ランダム振動試験

以上、定常強制振動実験でタワー・ピアー系の動的な基本特性を知ることはできたが、ここで実際の入力地震波にたいして系はどのような応答特性を示すかを知るため、定常ランダム加振およびElCentro地震(1940)記録 Time scale  $1/10$ による模型の応答を調べた。

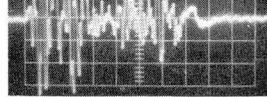
図6~8は定常ランダム加振による応答である。構造減衰の効果および土壌の弾塑性復元力の履歴によるエネルギー吸収が、タワーの歪み応答を強く制御していることが定常ランダム加振においても見える。

また写真ではElCentro地震記録を入力としたときのタワーの歪み応答をシンクロスコープから写真にとったものである。出力は自己の固有周期近辺の周波数の波が選択共振しているようすがよくわかる。

測点③の応答(出力)



ElCentro地震記録(入力)



参考文献

- (1) Ichiro Konishi and Yoshikazu Yamada, Earthquake response of a long span suspension bridge Proc. IIWCEE 1960
- (2) Ichiro Konishi and Yoshikazu Yamada, Earthquake response and earthquake resistant design of long span suspension bridges, Proc. of IIIWCEE, 1965
- (3) I. Konishi, Y. Yamada, T. Takeku, H. Ikumi and T. Isa, Experimental studies on effects of structural damping and foundation conditions to earthquake responses of suspension bridge tower pier systems, Proc. of JEES, 1966
- (4) J. F. Borges, J. Pereira, A. Ravara and J. Pedro, Seismic studies on concrete dam model, Sym. on Concrete Dam Models, Lab. Nac. Eng. Civil, Paper 22, Lisbon, 1963
- (5) L. S. Jacobsen, Dynamics of Structural Models in U.S.A.
- (6) 小高昭夫, 耐震構造の総合研究 I 宇野書店 昭和39年

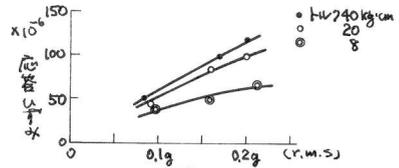


図-6 測点③の歪み応答における加振外力の構造減衰の影響

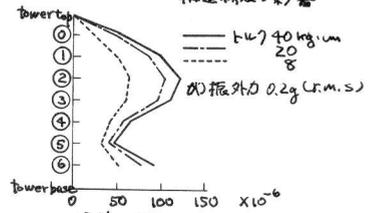


図-7 構造減衰による応答歪みの低下

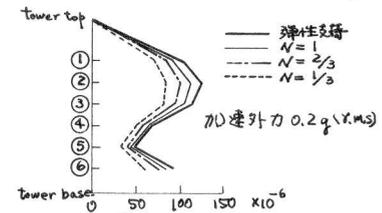


図-8 基礎土壌の弾塑性による減衰効果