

I - 442

水中トンネルの地震時流体力に関する実験と考察

ハザマ 正○黒崎和保 北海道大学 正 佐伯 浩 正 山下俊彦
 北海道開発局 正 水野雄三 北海道電力 正 峯田 稔
 熊谷組 正 角田素男

1. まえがき 水中トンネルは、新交通・輸送手段を代表する海中輸送システム構想の1つとして、潜海チューブ構想やマリニエクスプレス構想などと共に、その実現化を目指し、鋭意研究開発が進められている¹⁾。Fig. 1に示すように水中トンネルは、海面下に没水して係留設置される浮体式円筒構造物であり、波浪や流れに対する動揺安定性の検討はもとより、昨今の地震被害が伝えられる中、耐震性の検討もその重要度は高まりつつある。地震時に、水中トンネルに作用する外力は、海底より係留索を伝わる応力波によるものと海底振動により起こる流体運動で生じる流体力が考えられる。ここでは、地震動水平方向成分は、水がせん断波を伝えないことより、流体力は上下方向地震動成分によるものに対象を限定する（応力波については別途検討済みで参考文献2)を参照）。

以上を前提に、本研究は、水深が浅く非圧縮と見なし得る条件下で、振動台による鉛直方向加振実験を実施し、実験結果よりトンネルに作用する流体力特性を検討したもので、数値計算との比較についても若干考察を行った。

2. 実験の概要 Fig. 1に示す水中トンネルを想定し、フルード則で1/72.3スケールの模型を振動台テーブル上の水槽内に、Fig. 2のように固定した。振動台加振条件とトンネル模型天端水深をTable. 1に示す。加振は正弦波で行い、加速度はスロッシングの影響を軽減するため50gal以下で、周波数は系の固有振動数帯（30～40Hzに存在）を避けるため20Hz以下に設定した。

計測項目は流体力（上下方向荷重）およびトンネル表面圧力変動であり、加振時の入力加速度は水槽底面の加速度計の値で代表させた。また、トンネル模型の存在による水面の変動も同時に計測した。

3. 実験結果と考察 実験結果をFig. 3およびFig. 4に示す。(a)流体力 F_z^* および(b)圧力変動 P^* は、それぞれ無次元化した（下記注¹⁾参照）値であり、また、図中においてCal.で示した実線および破線・他は、別途検討された解析手法²⁾による計算値である。

Fig. 3は、設置水深100m、天端水深30mのFig. 1に示した基本設置条件の場合の実験結果である。●が分力計で測定された流体力、○が(b)で示した圧力変動より積分合計された流体力

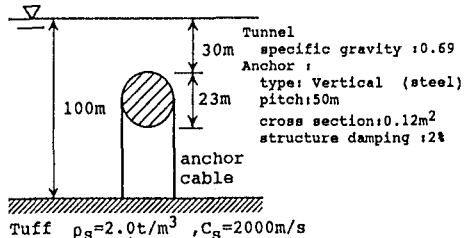


Fig.1 Prototype dimension of the tunnel

Table.1 Conditions of the model test

	Fluid force test
Accel. Level & Frequency	25, 50 gal 1 ~ 20 Hz
Parameter	depth on the Tunnel 415mm, 138mm (d= 30m, 10m)

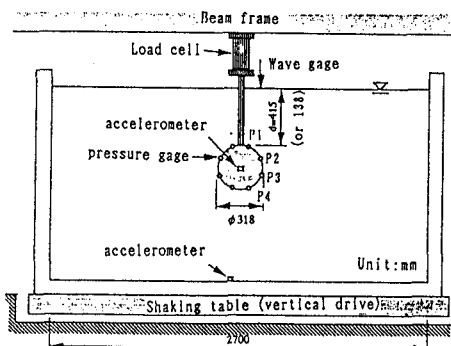


Fig. 2 Tunnel model location

注¹⁾ $F_z^* = F_z / \rho_w (r_s)^2 \alpha$ 、 $P^* = p / \rho_w (r_s) \alpha$ F_z & p : 流体力および変動圧の実験値
 ρ_w : 水の密度、 r_s : トンネル代表長= $\sqrt{A}$ (A : トンネル断面積)、 α : 加振加速度

の値である。計測点での圧力値をもとに補間近似した分布形から鉛直方向流体力を算出した為、両実験値にはばらつきが認められるものの、許容範囲内であると言える。また、実施された加振周波数帯（1～12Hz）において、流体力は水のトンネル排除分のほぼ2倍に相当する値を示しており、計算値ともおおそ一致していると言える。しかしながら、圧力分布においては、実験値は3Hzぐらいより減少傾向を示している。これは作用する圧力変動を2つの成分の和と考えることより理解できる。すなわち、加振変位（これは ω^2 に比例、 $\omega=2\pi f$ ）に比例した変動圧分と変位に対して逆位相に働く流体加速度に比例した変動圧分である。今回の実験は加速度一定で加振した為、後者は一定であり、前者は逆位相で増大する故、各点の変動圧の和としては低周波加振になるほど加振変位増加による相殺効果により圧力減少が生じることになる。

次に、Fig. 4は天端水深が浅い（実験で10m）場合であるが、(b)圧力変動の値は、天端水深が深い場合と比較して各点それぞれ全周波数帯で小さくなっている。しかしながら、(a)流体力 F_z^* の値は、若干2.0を下回るぐらいであり、ほぼ一定であると言える。ただし、2Hz以下では幾分極小的に減少する傾向があり、この辺りの周波数では実験時に水面の変動が数ミリ程度認められたことから造波減衰による影響と推定される。

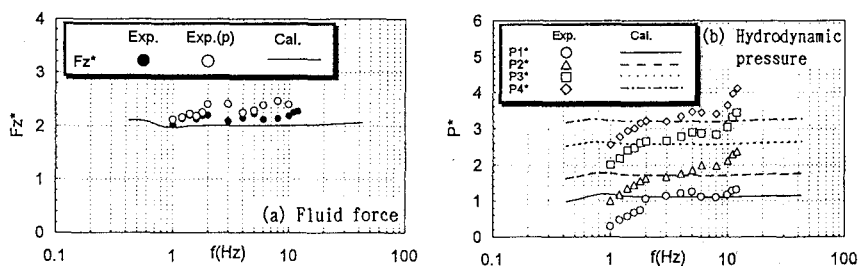


Fig. 3 Result of the fluid force test (depth on the tunnel is 415mm)

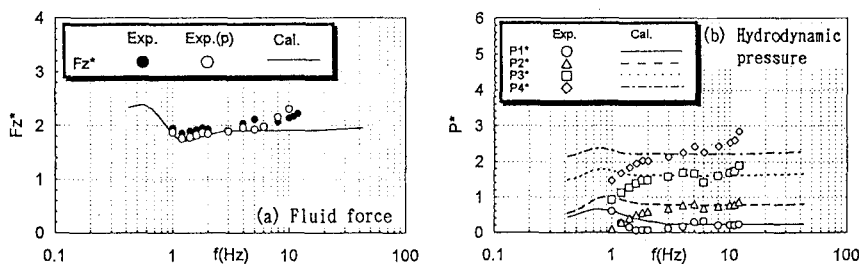


Fig. 4 Result of the fluid force test (depth on the tunnel is 138mm)

4. あとがき トンネルの2次元断面を対象に、水中トンネルの地震時流体力特性を振動台加振実験結果より検討し、以下の結論を得た。

流体力は、トンネル排除水分の質量に働く慣性力のほぼ2倍であり、圧力の積分値からも実験の妥当性が確認された。この成果をもとに、今後は解析手法について更なる検討を進める予定であるが、特に水の圧縮性を考慮することによる流体力特性への影響度について調べる予定である。

なお、本研究は（社）水中トンネル研究調査会の研究活動の一環として実施されたものであり、流体力研究小委員会参加各社のご協力のもとに行われた。また、振動台は（財）電力中央研究所我孫子研究所の上下2軸振動台を用いて行ったもので、同研究所耐震部岩橋敏広部長および構造部萩原豊研究員には貴重なご指導を戴いた。紙面を借り、ここに感謝の意を表します。

参考文献 1) 芳村 仁・三上 隆(1993):海中輸送システム構想—水中トンネル—、土木学会誌、Vol. 78、No. 9、pp. 331～336。／2) 山崎 晶・森田知志、他(1993):水中トンネルの地震上下動に対する応答、第22回地震工学研究発表会講演概要、pp. 579～582。／3) 山崎 晶・黒崎和保、他(1993):上下方向地震動に対する水中トンネルの応答特性、海洋開発論文集、Vol. 9、pp32～33。