

秋田大学 土木工学科 学生員 山岸 一彦

秋田大学 土木工学科 正員 塚農 知徳

I. はじめに

構造物が周期荷重を受ける場合、その動的不安定境界は動的安定解析により決定されることは周知の通りである。特に簡単な場合で両端が単純支持された柱の周期的軸力を受けるときには、柱の横たわみの n 次のモードの固有振動数を Ω_p 、励振振動数を θ とすると柱の係数励振不安定領域は $\theta = 2\Omega_p/k$ ($k=1, 2, \dots$)の近傍に存在する。ここに、 $k=1$ の場合の不安定領域は最っとも危険であって動的主不安定領域と呼ばれる。又、 $k=2$ の場合は副不安定領域と呼ばれ、 $k=3, 4, \dots$ は無視される¹⁾。以上は単純な(単一モードの)動的不安定領域であるが、これを含めて、一般に動的不安定領域は $\theta = (\Omega_p \pm \Omega_2)/k$ の近傍に存在し、単純な不安定領域に加えて、和形・差形のいわゆる混合共振の係数励振不安定領域が導かれている。この混合共振は周期的軸力を受ける両端固定の柱について理論的、実験的に確認されている²⁾。一方、水平に張り出した片持ちばりに鉛直方向(断面強軸方向)に周期力が作用する場合、励振振動数 $\theta = \Omega_p + \Omega_2$ 及び $\theta = \Omega_p$ の近くに不安定領域が存在することが実験で認められ、理論的に解析された³⁾。この混合共振は曲げ振動とねじり振動の連成したものであり、又、単純不安定係数励振はそれ程重要でないことが確かめられている。筆者はこのような曲げ振動とねじり振動による混合共振を明らかにするために図1に示すように振動台上に片持ちばりを立て、この柱の断面強軸方向に横周期力を作用させ動的安定に対する実験を試みた。

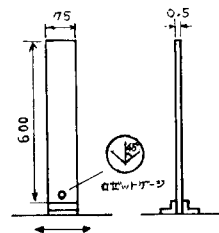


図1 試験機体

II. 実験装置及び実験内容

本実験では試験体材料として純アルミニウム (Al 99.55%)の板を使用した。寸法は $75 \times 0.5 \times 600$ mmとし、図1に示すように振動台上に固定した。この振動台は国際機械振動社製、電動型低減振動機 VSU3205型である。鉛直片持ちばり柱の自重による曲げ座屈は計算すると、この断面形状で限界長さ l_{cr} にして $l_{cr} = 752 > 600$ mmとなり座屈に対して十分安全である。片持ちばりの曲げ及びねじり振動を定量化するために図1に示すように試験体の両面にロゼットゲージを貼り付けた。

1.) 動的不安定境界の決定

係数励振を受ける片持ちばりの動的不安定境界は、ある励振周波数で出力(加速度)を除々に上げ、波形が変化し、振幅が増加する不安定な振動の傾向を見せたときの励振周波数と振動台の加速度の値で表わされる。但し、この不安定境界は片持ちばりの特に曲げの初期不整により影響を受け、このため本実験ではトランシットばりの側面を観察し初期不整を ± 1.0 mm以内に収めるべく配慮した。

2.) 自由端のねじり角(曲げ振幅)とねじり歪(曲げ歪)

の対応

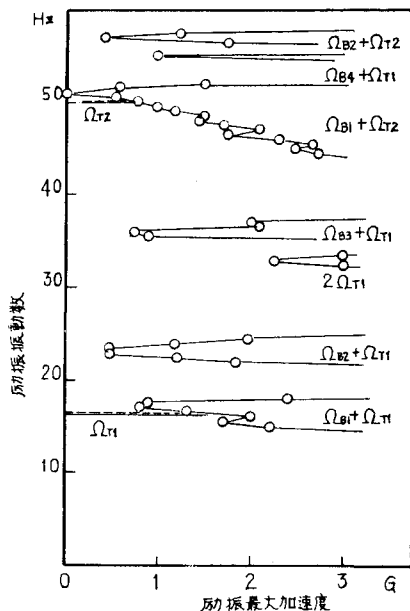


図2 動的不安定境界

振動モードが同じ場合、片持ちばりの自由端のねじり角(曲げ振中)とねじり歪(曲げ歪)は対応していると考えられる。この関係を知っていれば、特に測定が困難な混合共振にあるねじり角でも同じモードのねじり歪との関係より推測することが出来る。一次モードのねじり振動、及び二次、三次モードの曲げ振動についてこれらの関係を測定することができた(図3)。片持ちばりの自由端のねじり角はこの自由端の中央に鏡(5×15mm)を貼り、係数励振 16.42 Hz でねじりの一次の副不安定常振動を起こしこれに光をあて、鏡の反射光の振れ角を測定することにより算出した。曲げ振動については自由端の上にスケールを固定し、トランシットにて曲げ振幅を測定した。

モード	Ω_{B1}	Ω_{B2}	Ω_{B3}	Ω_{B4}
Hz	0.727	6.82	19.63	38.6
モード	Ω_{T1}	Ω_{T2}	—	—
Hz	16.43	50.0	—	—

表1 固有振動数

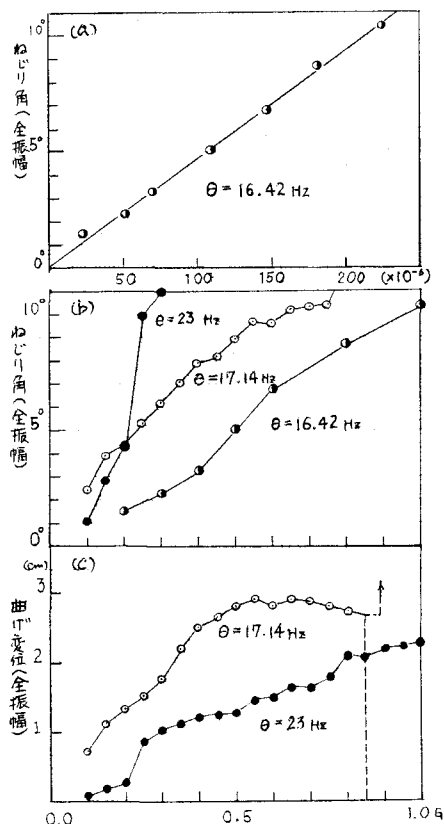


図3(a-c) 自由端の曲げ・ねじり変形

Ⅲ. 実験結果及び考察

不安定領域は図2に示すように励振振動数1~60 Hz について実験された。図中、 $\Omega_{B1} + \Omega_{T1}$ は1次の曲げと1次のねじり振動モードによる混合共振であることを示している(以下、 $\Omega_{B1} + \Omega_{T1}$ 混合共振と略記する)。これらの不安定振動中、出力を急に切つてその時の振動モードで自由振動させ、固有振動数を求めたものが表1である。これにより、和形混合共振 $\theta = \Omega_{B1} + \Omega_{T1}$ の関係を満足していることが確かめられた。しかし、単純不安定領域については、 $\theta = \Omega_{T1}$, Ω_{T2} で起きたねじりの副不安定領域の他には顕著に認められなかった。 $\theta = 33$ Hz 付近で、 $\theta = 2\Omega_{T1} \approx 33$ Hz のねじりの一次の主不安定領域のものと思われる現象があったが、しかし、これは安定時の微小な33 Hzの波形が図の境界線上で周期が2倍に、則ち振動数が33 Hzから Ω_{T1} の16.4 Hzにかわただけで振中の増加は認められなかった。このように曲げとねじりの混合共振、及びねじりの副不安定領域が優性であるのが本動的不安定実験の特徴である。変形に関しては曲げの一次、二次、ねじりの一次の振動モードが関与している不安定領域が卓越していることは言うまでもない。ねじりの一次振動モードのねじり角-ねじり歪の関係(図3a)より、 $\Omega_{B1} + \Omega_{T1}$, $\Omega_{B2} + \Omega_{T1}$ 混合共振でのねじり角を推定したのが図3bである。但し $\Omega_{B1} + \Omega_{T1}$ 混合共振は図4に示されるように、ねじり振動(一次)が曲げ振動(一次)の影響を受けたりを生じている。図2bではこのねじり歪はうなりの最大値を取っている。このようなねじりのうなり現象は、曲げ一次振動の関連する混合共振で、安定から不安定領域への過渡期にも観察された。図2cで $\Omega_{B1} + \Omega_{T1}$ 混合共振での曲げ振動は0.8 G付近で不連続的で、曲げ一次振動は停止し、初期平衡位置を保ったり、1 cm程変位し戻りする。その後0.88 G付近で14 cm(全振中)もしくは24 cmの一次曲げ振動を起す。この様な大振動の後には部材に残留歪の影響が見られた。

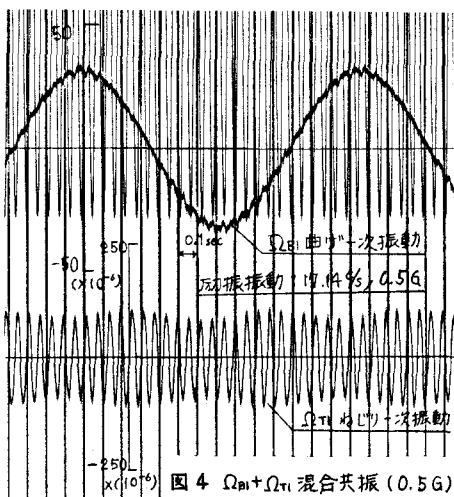


図4 $\Omega_{B1} + \Omega_{T1}$ 混合共振 (0.5 G)

参考文献 1) ホーナン, 近藤 弾性系の動的安定 コロナ社 2) 岩倉 他 周期力を受ける柱の不安定問題 日本機械学会論文集 S49.6
3) J. Dugundji Lateral Bending-Torsion Vibrations of a Thin Beam Under Parametric Excitation ASME E. P693-698 Sep 1973
4) Timoshenko Theory of Elastic Stability Plol McGraw-Hill Book Co. 1961