

東北大学工学部 学生員 ○中島章典

東北大学工学部 正会員 倉面 茂

1. はじめに

周期性軸力に対する柱(部材)の動的強度については、あまり研究が行われていないと思われる。そこで本研究では、最もきびしい周期性軸力であると思われるパラメトリック共振現象を示すような周期性軸力が、柱に作用する際の柱の動的挙動について、その基礎的性質を調べたものである。ここでは、応力-ひずみ関係を完全弾塑性型とした場合と、バウシinger効果を考慮した場合、細長比、軸力の非周期性成分と周期性成分の大きさなどをパラメーターとして解析を行っている。

2. 解析方法

幾何学的非線形性と材料非線形性を考慮した修正荷重増分法に、ニューマークの β 法($\beta=1/4$)と適用した数値計算方法を用いて、動的応答解析を行っている。数値積分の時間刻みは、柱の曲げ振動の1次固有周期の $1/64$ とし、さらに時間刻みを $1/4$ としても取れんしない場合と崩壊状態とする。材料非線形として応力-ひずみ関係は完全弾塑性型とした場合と、引張側・圧縮側のどちらかで断面が降伏した後逆負荷、それに続く再負荷時には、バウシinger効果を導入する場合と考えている。解析モデルは、図1のような長さ10mの箱型断面柱を用いた。細長比は、30, 60, 90, 120, 150、鉛直方向変位の拘束は柱中央部とし、柱に作用する周期性軸力 P は次式のように与えられるものとする。

$$P = P_{cr} (\alpha + \tau \sin \theta t) \quad (1)$$

ここに、 P_{cr} は $1/1000$ の元たわみをもつ柱の静的耐力を計算してその値とする。 α 、 τ はそれぞれ非周期性軸力成分、周期性軸力成分である。柱の固有円振動数 Ω に対して $\theta = 2\Omega$ (主共振領域)で、 $\alpha = 0, 0.5$ について荷重周期は10サイクルを基準とした。また鋼材の降伏応力度は 2400 kgf/cm^2 としている。

3. バウシinger効果の導入

横尾・中村らの提案した非定常履歴応力-ひずみ関係式において、降伏棚上からひずみが反転した場合の応力-ひずみ式を、さらに図2に示す式のように反転点から直線と多項式に回帰して用いた。この応力-ひずみ関係は、塑性ひずみ振幅の影響を受けると思われるが、ここでは簡単のために、降伏後の応力-ひずみ関係式は塑性ひずみ振幅によらず一定とした。(塑性ひずみ振幅は降伏ひずみの2倍)また、応力値は降伏応力度よりは大きくならないものとした。

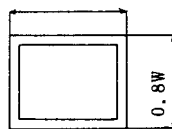
4. 数値計算

i) $\alpha = 0$ 、バウシinger効果を考慮しない場合

細長比が小さい場合には、曲げ振動の増幅は小さく軸力による断面の塑性化が支配的である。細長比が大きい場合には、パラメトリック共振による曲げ振動の増幅が大きくなり、断面は曲げによる塑性化が支配的であった。しかし、いずれの場合も $\tau = 1.0$ (静的耐力に等しい)となっても柱は崩壊には至らなかった。



(a)



(b)

図-1 解析モデル

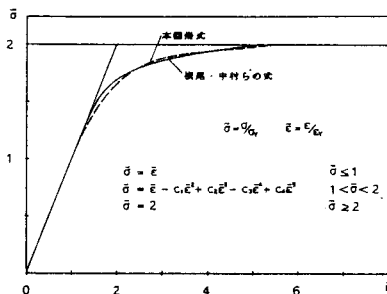


図-2 バウシinger効果

ii) $\alpha = 0.5$, バウシinger-効果を考慮しない場合
 細長比が 30, 60 で $\tau = 0.5$ では, 断面の降伏は起こるが 10 サイクルでは崩壊には至らなかった。図 3 には $\lambda = 120$, $\tau = 0.3$ のときの応答を示している。(a) は柱中央部の水平方向応答変位を示しており, 縦軸は変位を部材長で, 横軸は時間を 1 次固有周期で無次元化している。(b) は柱中央断面の抵抗曲げモーメント-曲率関係を示しており, 縦軸, 横軸はそれぞれ降伏曲げによる降伏モーメント, 降伏曲率で無次元化している。(c) は同じく柱中央断面の応力-ひずみ関係を示し, 縦軸, 横軸はそれぞれ降伏応力, 降伏ひずみで無次元化している。いずれの図からも変形が発散して崩壊に至っていることがわかる。 $\lambda = 90$ では $\tau = 0.5$ で, $\lambda = 150$ では $\tau = 0.3$ 以上で同様の崩壊性状を示している。

iii) $\alpha = 0$, バウシinger-効果を考慮した場合
 細長比を 120, $\tau = 1.0$ のときの柱の応答を図 4 に示す。(a) は柱中央部の水平方向応答変位を示しており, 図中の破線はバウシinger-効果を考慮しない場合の応答を示している。バウシinger-効果のために変形が大きくなっていることがわかり, 柱は崩壊に至っている。(b) は柱中央断面の応力-ひずみ関係を示している。降伏後の逆負荷に際してはバウシinger-効果が現われている。細長比が 120, 150 では $\tau = 0.4$ 以上で, 細長比が 90 以下では $\tau = 1.0$ で柱は崩壊している。塑性ひずみ振幅によらず, 降伏後は応力-ひずみ関係を一定としていることにより, 強度を過小評価していると思われるが, バウシinger-効果による強度の低下を無視することはできないと思われる。

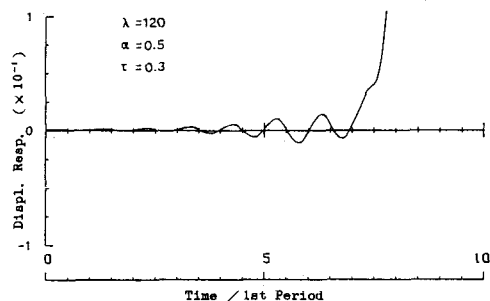
iv) $\alpha = 0.5$, バウシinger-効果を考慮した場合
 $\alpha = 0$ のときのように大きくはないが, バウシinger-効果のために少し強度が低下している。しかし崩壊性状は, 応力-ひずみ関係を完全弾塑性型とした場合と違, 変位が大きく発散する前に崩壊に至っている。

5. あとがき

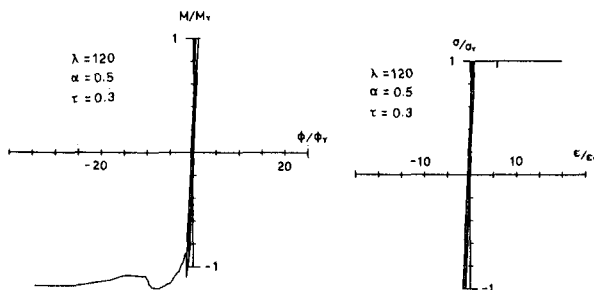
本研究で用いたバウシinger-効果は, 強度を過小評価していると思われるが, 柱の動的強度は, 非周期性軸力, バウシinger-効果の影響を大きく受けると予想される。

《参考文献》

1. 倉面・中島: 周期軸力に対する柱の動的強度について, 第 36 回年講要集, 1981, 10
2. 横尾・中村: H 形鋼材の非定常履歴単軸応力-歪関係式, 建論集, Vol. 260, 1977, 10



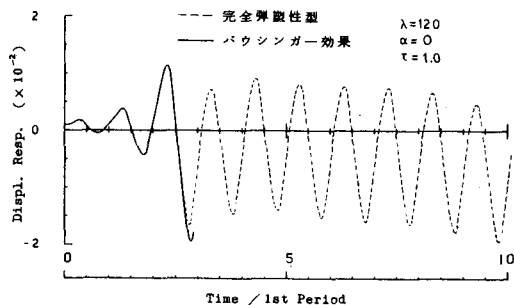
(a) 水平方向応答変位



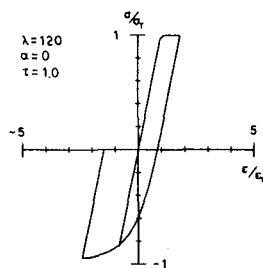
(b) 抵抗曲げモーメント-曲率関係

(c) 応力-ひずみ関係

図-3 柱の応答



(a) 水平方向応答変位



(b) 応力-ひずみ関係

図-4 柱の応答