

橋脚の耐震設計に関する基礎的研究

京都大學工學部
京都大學防災研究所

後藤尚男
金多 潔

本研究は橋脚の合理的な耐震設計を目的として、問題を動力學的な立場から解析するとともに *limit analysis* に立脚した設計法を確立するための基礎的な考察を行なったものである。地震時の橋脚の挙動が線型振動として解析しうる現象ではなくて、もつと複雑な様相を呈するものであることは以前から認められて来た事実であるが、その本質が地盤の弾塑性的な力學的性質に基づく非線型過渡振動であるとして取扱った研究は皆無といってよい。すなわちそれは地震動が不規則な波の連続であり、また橋脚を支持する周辺地盤の復元力特性が複雑であるのみならず解析にあたっては橋脚の運動方程式が非線型となつて數學的に解を求めることが非常に困難であつたためである。従つて問題の解析には必然的に數値積分法や圖式解法などの近似計算法を採用することになるが、本研究の一部においてこれらの方法を網羅し、その各の長短を比較し、更に近年急速な発達を見た電氣的模擬演算回路による方法について検討を加えた結果、橋脚の非線型過渡振動解を求めるには *backlash element* を持つた *analog computer* の使用が精度や所要時間などの点から見て極めて有力な手段であることが確認された。橋脚の運動方程式の誘導に當つては問題に包含される種々の複雑性に鑑み既往の地盤工學の分野における諸実験および本研究で新たに行なつた換型実験の結果に基づいて工學的に妥当と考えられる若干の假定を設けて、かなり大胆に問題の抽象化を図つた。すなわち振動中の橋脚の内部変形は地盤の弾塑性変形に比べて十分小さく、また橋脚の *rocking* 運動に伴う重力の影響は無視しうるものとした。我々の換型実験によれば橋脚の *rocking* 運動の中心は振中の大きさに拘らず一定位置にあることが確かめられたから、この点を運動座標の原点にとれば橋脚の振動 (*rocking motion*) は一自由度の微分方程式で記述される。橋脚周辺地盤土壤の一軸圧縮試験結果によると、その荷重と変形量との関係は *ideal elasto-plastic* なものに抽象して良いものと見做されるから、橋脚の振巾とこれに対応する地盤の復元力との関係は *bi-linear* な特性で近似されるような曲線となりその初期勾配は橋脚の微小振動時の週期を決定づけるものである。また、地震波の想定の問題は今日なお論議されるべき重要な課題であるが、本研究ではそれを衝撃的な一箇のパルスあるいはこれの組合せとしての *acceleration doublet* (定値加速度の矩形波列— *square wave*) を以つて抽象した。 *Backlash element* を持つ低速度型電子管式 *analog computer* は上記の標本 *bi-linear* の復元力特性を有する振動系に対して此處で抽象した如き地動が作用する場合の系の *response* を十分な精度で、しかも極めて短時間に求めることが出来る。

解析結果の一例として *Fig. 1* (次頁) は継続時間及び加速度値が種々異なる矩形波に対する系の *response* 曲線から橋脚の最大振巾 Y_m を *plot* したものである。横軸には地震波の継続時間 T と橋脚の微小振動時の固有週期 T_0 との比がとられている。圖中の α は地動加速度値と系の復元力の降伏点との比を示すもので、例えば $\alpha = 3/4$ は $0.4g$ の地動加速度に対応する。

系の最大振巾 Y_m は比 T/T_0 の値によつて著るしい変化を示し、また振巾は α の値のみには比例しないことがわかる。このことは橋脚の変形量、従つて橋脚の破壊が α 及び T/T_0 の双方に密接なる関係を有することを示すものであつてそれは逆に静的水平力を假想する従来耐震計算で單に地動加速度値のみを問題にしても橋脚の動的変形量を規定することは出来ないことを意味するものなのである。

次に、現在では橋脚の設計は弾性理論によつて行なわれているが、耐震性を考慮した橋脚の設計には塑性理論により終局強度に基準を置く極限設計理論に立脚すべきであるとの見地から、本研究の第二部ではその考察を理論的実験的に行なつたのである。

まず理論的には橋脚に作用する外力状態と、橋脚を構成する材料すなわち鋼と concrete の力學的性質に関する工学的假定を設け、これらをそれぞれ完全弾塑性と見做した際の橋脚の終局強度（破壊曲げモーメント）の計算式を誘導し *limit analysis* の理論を応用して橋脚躯体および井筒が曲げ破壊に至る極限荷重を算定する実用計算式を誘導した。これらの理論的研究の結果を実験的に裏付ける目的で *prototype* の約 $1/5$ の橋脚井筒模型を製作し、これに二点集中荷重による静的加力試験を施し、模型に破壊が生ずるまで載荷した。その結果、現行の橋脚の形状では橋脚井筒の破壊は曲げ応力によつておこり、測定した破壊荷重実験値は理論的に誘導した終局強度計算式による算定結果と極めて良い一致を見た。また SE-4 電気抵抗線歪計で測定した模型中央断面の歪の分布から、最初に材料の力學的性質に関して設けた假定は十分に採用すべきものであることが確かめられた。すなわち橋脚井筒の断面は載荷重が小さいときは弾性理論に従つた応力分布を示すが、荷重が段々と増大すると引張側 concrete に亀裂が発生し始め、また圧縮側断面の応力分布は当初の三角形分布から段々と矩形の分布に近づく。断面の中立軸の位置は最初断面の中央にあつたものが徐々に圧縮側へと移行し、遂に圧縮側鉄筋の位置にまで到達する。かくして終局状態における断面の抵抗モーメントは引張側鉄筋の降伏応力と圧縮側 concrete の終局応力とによつて与えられ、極限設計理論が十分適用出来ることを証明するものである。最後に終始御指導を給わつた京都大學小西一郎教授に深く感謝の意を表する。

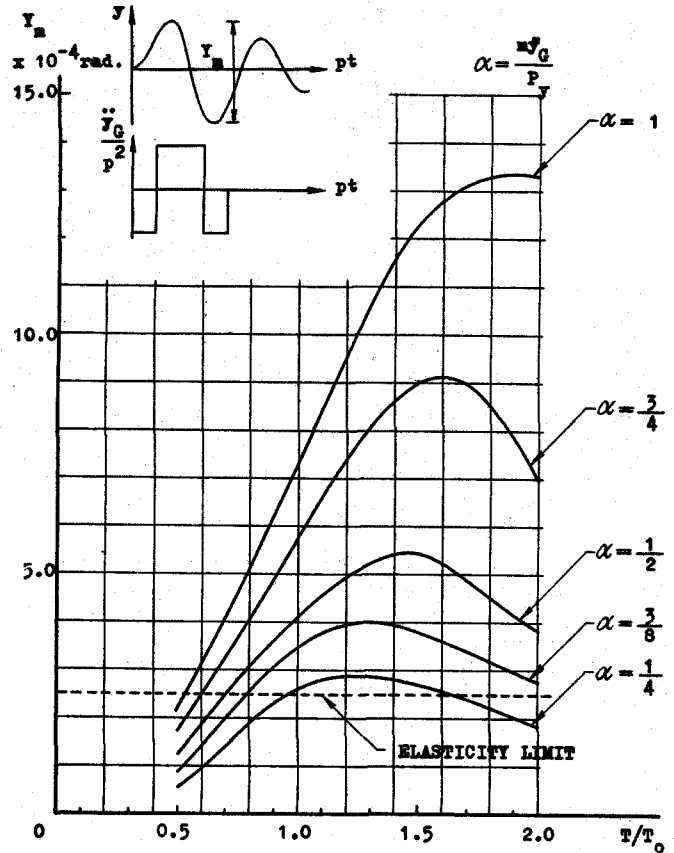


Fig. 1 Maximum-Amplitude Spectrum for a Square-wave Type of Ground Motion