

I-630

構造物損傷と地震動強さ指標の関係

東海旅客鉄道㈱

正会員○安藤 陽一

東京大学生産技術研究所

正会員 山崎 文雄

東京大学生産技術研究所

正会員 片山 恒雄

1. はじめに

地震動のどのような特性が構造物に損傷を与えるのかは、構造物の動的特性が明らかになるにつれてますます重要な問題になってきている。地震動の強さ指標としては、まず最大加速度が挙げられ、耐震工学における既往研究の多くは最大加速度をもとにしている。しかし最大加速度と構造物の損傷との相関関係が、一般的には他の最大速度やSI値と比べ余りよくないという指摘^{1)・2)}もされている。そこで本研究では、最大加速度を含め様々な地震動の強さ指標が、どの程度構造物の損傷を説明できるのか数値解析による検討を行う。

2. 入力地震動と解析手法

解析で用いる入力地震動は、最大加速度50Gal以上の23個の国内外の強震記録を、スケーリングを行わず用い、地震動の強さ指標として次のものを考えた。①最大加速度(PGA)、②最大速度(PGV)、③最大変位(PGD)、④HousnerによるSI値(減衰定数0.2、周期0.1~2.5秒についての平均値)、⑤加速度パワーやRMS加速度、各種の継続時間などの指標、⑥PGA、PGV、SI値にBoltによる継続時間のべきを乗じた指標。また代表的な構造物の損傷評価方法としては、応答塑性率、塑性ひずみエネルギーなどがある。本研究ではその両者を正規化して線形結合した損傷率(ParkとAngの損傷指数³⁾； β は0.25、限界塑性率5を仮定)を損傷評価法とした。

構造物のモデルとしてはBi-linear 1質点系を用い、弾塑性剛性比は0.05とした。構造物の降伏強度は実際の構造物と対応するように道路橋示方書⁴⁾の修正震度法(設計水平震度0.2、2種地盤)によるものとした。また減衰定数の設定には、Kobayashi⁵⁾や道路橋示方書による地下逸散効果を考えた減衰定数 h と構造物の固有周期 T の関係($hT=\text{const.}$ ；本研究では $hT=0.02$)を考慮した。応答解析にはNewmark- β 法($\beta=1/4$)による直接積分法を用い、構造物の固有周期は0.1~5.0秒までを0.1秒間隔で設定した。

3. 計算結果

まず、個々の地震動に対するParkとAngの損傷指数の応答スペクトルを得る。El Centro地震動の計算結果を例にとると図1のように短周期域で大きくはね上がった形となった。応答塑性率などに関してMinamiら⁶⁾も同じ傾向を示している。

次に23地震動全てに対する計算結果を用いて、PGA、あるいはSI値などの地震動の特性値と、0.1秒刻みの周期に対するParkとAngの損傷指数応答値との相関係数を得た。それをスペクトルの形状で表すと図2のようになる。⑤の加速度パワーやRMS加速度、PGAとよく似た傾向を示し、⑤の各種の継続時間は相関係数が高くなかったので本稿では述べない。図2から、PGAは非常に短周期域(0.1~0.3秒)のみであてはまりのよい指標であり、工学的に重要と思われる0.3~1.5秒の周期域についてはSI値が優れており、PGVは幅広い周期域についてほとんどの相関の良さを示す。PGDは長周期域での相関がよい。

短周期域として0.1~0.5秒、中周期域0.6~1.2秒、長周期域1.3~2.5秒として、23地震動の損傷応答のスペクトルをその短周期域、中周期域、長周期域に分けて平均化する。損傷指数の平均値と地震動強さ指標が共に対数正規分布だと仮定し、ParkとAngの損傷指数を縦軸に、PGA、またはSI値を横軸にプロットしたのが図3である。PGVはSI値とよく似た分布を示したので、その図は省略する。図中央の実線は最小2乗法による回帰式である。その上下の破線は回帰式から $\pm\sigma_E$ (対数標準誤差)の範囲を表し、この幅が狭いほど、相関のよいことを意味する。PGAと損傷との相関は短周期域ではよいが、中周期域、長周期域となるにつれて悪くなる。一方SI値と損傷との相関は、すべての周期域に対してばらつきの幅が安定している。また⑥の各指標、すなわち継続時間を加えたもので、回帰の精度が向上したのは、長周期構造物の各種損傷をPGAと継続時間で説明する場合のみであった。継続時間を変数に加えた重回帰式の中には、継続時間が長いほど、損傷が小さいという矛盾した結果を示すものもあった。PGVやSI値には継続時間の影響が暗に含まれていると考えることができる。

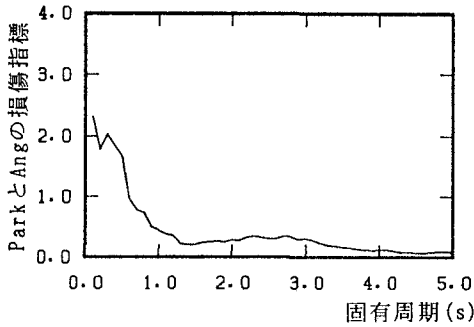


図1 ParkとAngの損傷指標($\beta=0.25$)のスペクトル(El Centro地震波による結果)

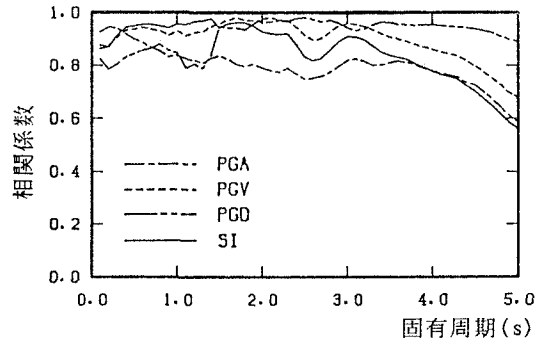


図2 地震動の強さ指標とPark and Angの損傷指標($\beta=0.25$)との相関係数

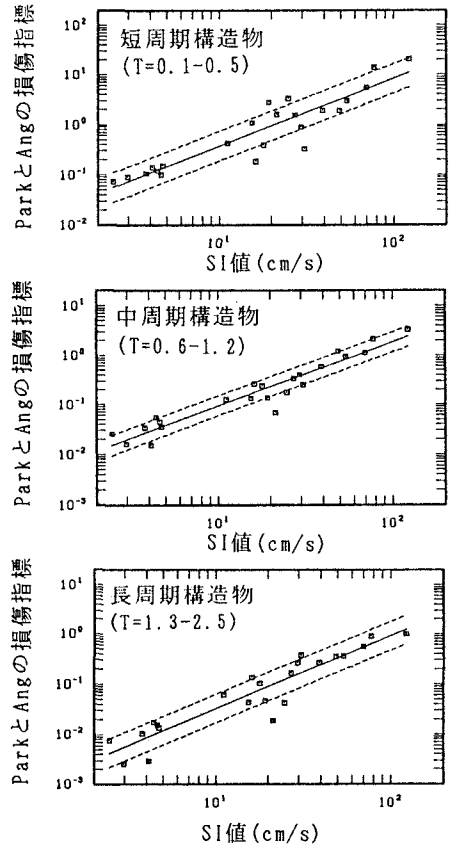
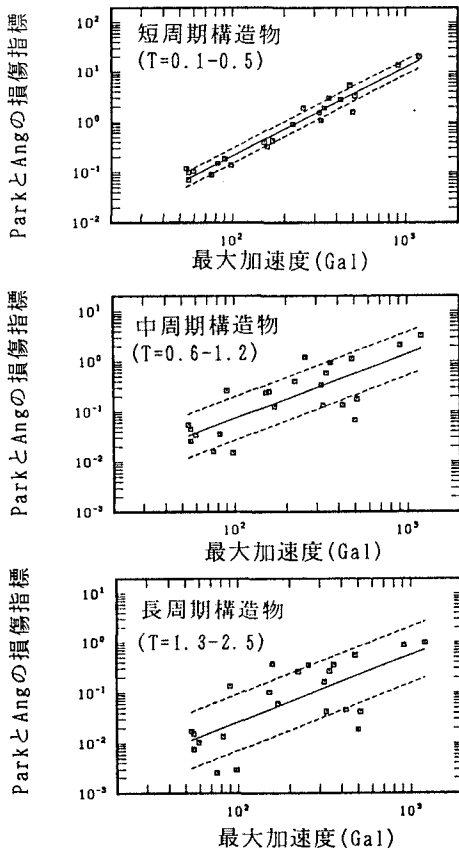


図3 PGA, SIとPark & Angの損傷指標($\beta=0.25$)との関係

参考文献 1)長橋・小林:構造物の破壊作用を対象とした地震動の強さの評価,日本建築学会論文報告集,第169号,1969. 2)Housner:Intensity of Earthquake Ground Shaking Near the Causative Fault,Proc. of 3rd WCEE, Vol.1, 1965. 3)Park and Ang:Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, Journal of Structural Eng., Vol.111, No.4, 1985. 4)道路橋示方書・同解説, V耐震設計編, 1980. 5)Kobayashi, H: Damping Coefficient of Structural Vibration Related to Subsoil Conditions, Proc. of 5th WCEE, 1974. 6)Minami and Osawa:Estimation of Structural Damage Based on Elastic-Plastic Response Spectra, Proc. of 9th WCEE, 1988