

I-556

地震被害と地盤振動

国鉄鉄道技術研究所 正会員 那須 誠

1. はじめに

現在、国鉄では東海大地震の発生に備えて盛土の補強工事を行、ている。この工法の確立に当って各種の調査を行い、その一つとして過去の地震で生じた地盤振動の大きさと、盛土被害の発生範囲等を調べたので報告する。

2. 調査結果

図1は地盤振動の速度と周期の関係図(表1(a)、村松¹⁾による)に、表1(b)X波形の最大値とその周期)を追加したものである。この図と表1(b)をみると、例外もあるが被害のほとんどは周期が約1〜3秒の間で速度が約18 cm/s以上の範囲で生じている。表1(a)も合わせ

てみると、被害は概ね加速度が約150 cm/s²以上、または速度が約18 cm/s以上の範囲にある地盤振動になると、その観測点の直近か付近で生じているように思われる。

図2は鉄道盛土と橋梁に被害の発生した最遠地点とマグニチュードMとの関係図(「地震と鉄道」¹⁾より)に、加筆修正して作ったものである。この図より我が国では鉄道盛土の被害と液状化²⁾の発生する範囲の限界は似ているが、図3(時松他³⁾を編集、加筆)をみると、液状化はM≦8では図2の範囲よりもさらに遠い所で生じていることがわかる。但し、盛土被害の発生限界はM≦7.9ではMが大きくなるとともに大きくなるが、M>7.9ではMに関係なく盛土では215 km、橋梁では145

km、液状化被害

では285 km付近で頭打ちの傾向がみられる。図2の鉄道橋梁の被害発生範囲が、盛土被害のそれの約65%以内になっているのは、

橋梁の基礎に杭等が施工されて補強されているからか

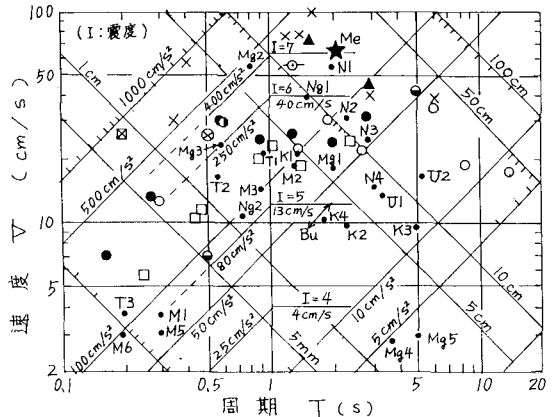
図1 地震による地盤振動(村松¹⁾に加筆修正)

表1 図1の凡例

(a) 地震記録(村松¹⁾に加筆、修正)

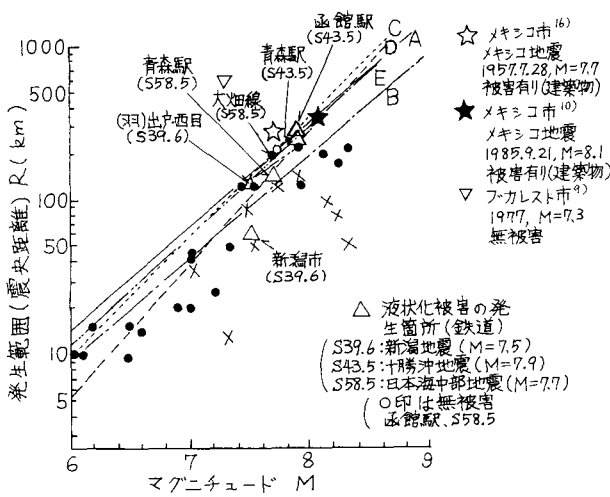
記号	地震名	発生年月日 (マニチュード)	記録場所
○	濃尾地震	1891.10.28 (M=8.0)	名古屋
○	関東大地震	1923.9.1 (M=7.9)	東京
●	1964年新潟地震	1964.6.16 (M=7.5)	新潟
●	松代地震	1965.5.28 (M=6.9)	松代
□	1968年十勝沖地震	1968.5.16 (M=7.9)	八戸
●	インマルパレ地震	1940.5.18 (M=6.9)	エルセントロ
▲	パクスフォード地震	1966.6.27 (M=5.6)	パクスフォード
X	サンヘルナンド地震	1971.2.9 (M=6.6)	パコイマダム
⊗	JMA強震計の強度		
⊗	SMAC-B2の強度		

(b) 地震記録

記号	発生年月日 (マニチュード)	最大変位 速度、加速度	固有周期	地震名または震央地名 (記録場所)	記録場所付近の被害
M1	M26.1.4	1.75mm	0.3 s	(東京)	無し ²⁾
M2	M27.6.20 (M=7.0)	38.0mm	1.3 s	東京湾北部 (東京)	有り ²⁾
M3	M28.1.18 (M=6.8)	20.5mm	0.9 s	利根川下流 (東京)	無(?) 有(被害)
M4	M28.10.11	3.1mm	0.2 s	(東京)	無し ²⁾
M5	M29.8.20	1.45mm	0.3 s	(東京)	無し ²⁾
M6	M29.12.17	0.95mm	0.2 s	(東京)	無し ²⁾
K1	T12.9.1 (M=7.8)	44.3mm	1.3 s	関東大地震 (東京)	有り ²⁾
K2	T12.9.2	34.9mm	2.3 s	(東京)	概ね無し ¹²⁾ (K1未震)

記号	発生年月日 (マニチュード)	最大変位 速度、加速度	固有周期	地震名または震央地名 (記録場所)	記録場所付近の被害
K3	T12.11.5	7.5mm	0.5 s	(東京)	概ね無し ¹²⁾ (K1未震)
K4	T13.1.15 (M=6.7)	29.5mm	1.8 s	丹沢山地 (東京)	概ね無し ¹²⁾ (K1未震)
M1	S39.6.16 (M=7.5)	159 cm/s ² (EW)	1.5 s	1964年新潟地震 (川崎川下流)(SMAC-A)	有り ³⁾
M2	S39.6.16 (M=7.5)	90.6 cm/s ² (NS)	0.74 s	1964年新潟地震 (松田川下流)(SMAC-A)	無し ³⁾
T1	S43.5.16 (M=7.9)	213 cm/s ² (NS)	0.93 s	1968年十勝沖地震 (青森港)(SMAC-B2)	有り ⁴⁾
T2	S43.5.16 (M=7.9)	188 cm/s ² (EW)	0.56 s	1968年十勝沖地震 (八戸港)(SMAC-B2)	有り ⁴⁾
T3	S43.5.16 (M=7.9)	118 cm/s ² (NS)	0.20 s	1968年十勝沖地震 (宮古港)(SMAC-B2)	無し ⁴⁾
M1	S53.6.12 (M=7.4)	5.88 cm (EW)	2.0 s	1978年宮城県沖地震 (仙台)	有り ⁵⁾
M2	S53.6.12 (M=7.4)	438 cm/s ² (NS)	0.8 s	1978年宮城県沖地震 (仙台、国鉄東北線B1F)	無し ⁵⁾
M3	S53.6.12 (M=7.4)	253 cm/s ² (NS)	0.59 s	1978年宮城県沖地震 (仙台、住友生命ビルB2F)	無し ⁵⁾
M4	S53.6.12 (M=7.4)	1.69 cm (NS)	3.8 s	1978年宮城県沖地震 (山形)	無し ⁵⁾
M5	S53.6.12 (M=7.4)	2.40 cm (EW)	5.0 s	1978年宮城県沖地震 (新潟)	無し ⁵⁾
U1	S57.3.21 (M=7.1)	13.3 cm/s (EW)*	3.4 s	1982年利根川沖地震 (十勝)	静内付近に 有り ⁶⁾
U2	S57.3.21 (M=7.1)	17 cm/s (EW)*	5.26 s	1982年利根川沖地震 (重信)	静内付近に 有り ⁶⁾
N1	S58.5.26 (M=7.2)	166 cm/s ² (EW)*	2.0 s	1983年日本海中部地震 (山形、利根川)(SMAC-B2)	有り ⁷⁾
N2	S58.5.26 (M=7.2)	31.02 cm/s ² (EW)*	2.3 s	1983年日本海中部地震 (秋田、利根川)(SMAC-B2)	有り ⁷⁾
N3	S58.5.26 (M=7.2)	25.2 cm/s ² (EW)*	2.87 s	1983年日本海中部地震 (青森港)(SMAC-B2)	有り ⁷⁾
N4	S58.5.26 (M=7.2)	14.6 cm/s ² (EW)*	3.11 s	1983年日本海中部地震 (山形、利根川)	静内付近に 有り ⁷⁾
Bu	1977 (M=7.3)	40 cm/s ²	1.5~2 s	フカレスト地震 (オーストラリア、M=6.0km)	無し ⁸⁾
Me	1985.9.21 (M=8.1)	198 cm/s ² (K平合成)	2.13 s	メキシコ地震 (メキシコ市、M=350km)	有り(住宅 と建築物) ⁹⁾

* 加速度波形からの積分値



- (1) A — 鉄道盛土被害 ($\log R = 0.67M - 2.85$)⁽¹⁾
 B — 鉄道橋梁被害 ($\log R = 0.67M - 3.05$)
 ● 盛土の路盤変位と軌道狂い、50mm 以上の場合。
 × 橋梁の軌道狂い、橋台橋脚の各種変状と桁落下の場合。
 (2) C — 液状化発生 ($\log R = 0.77M - 3.6$)⁽²⁾
 D — 液状化発生 ($\log R = 0.87M - 4.5$)⁽²⁾
 (3) E — 地震で被害の生じる範囲 ($\log R = 0.71M - 3.20$)⁽³⁾

図2 鉄道被害の発生範囲(「地震と鉄道」)に加筆、修正)

もしれない。なお、メキシコ市の被害(主に建築物)は鉄道盛土の被害発生限界付近で生じていることもわかる。

図4は図2の限界点(A, C線)の地盤振動の加速度と振動数との関係を示している。この関係はMと震央距離から土研式⁽⁷⁾を使って求めたものであり、両者の関係は概して変位一定の線上にあるが、振動数が大きくなると速度一定、加速度一定の線に近づいて行く。図5は日本海中部地震の鉄道被害の分布図⁽⁸⁾であり、この中の2つの円弧は図2のA線とC線であり、この2つの線はほぼ妥当なことがわかる。なお、鉄道盛土の被害発生限界線は地震断層の長さとの関係図(松田⁽⁹⁾)による)の上側包絡線(M>6)と似ており、断層の幅は長さの約半分であるが受動領域を考えると、幅の方向に長さと同じ位の距離まで地盤が変動することもあると考えられるので、推論にすぎないが被害範囲と震源域あるいは地殻変動域の大きさとの関係があるように思われる。

3. まとめ

ほとんどの地震被害は地盤振動の最大値とその周期がある範囲内にあるときに生じ、盛土や橋梁の被害発生限界距離とMとの間により相関があるが、液状化の発生限界とは若干異なるようである。

おわりに、本文中の引用文献の著者と助言を頂いた当研究所の吉岡修主研にお礼を申し上げます。

文献 1) 村松節郎: 地震第二巻、第30巻、2) 武蔵: 季刊カラム、No.91、3) 昭和39年新編「地盤調査報告書(土木学会)」、4) 東北建設庁「津波地震調査報告書(1969)」、5) 鉄研報告、No.1111、6) 土田肇他: 港湾技術資料、No.472、7) 浅田欽江他: 土と基礎、31-12、8) 尾田榮一他: 港湾技術資料、No.458、9) 朝日新聞、1985.10.24、10) 同左、1985.10.15、11) 地震と鉄道、1971、12) 栗林栄一: 土研会報、第30号、13) 美藤久他: 鉄研報告、No.1297、14) K. Takimatsu et al.: Geotech. 34-4、15) R.O. Davis et al.: Geotech. 33-4、16) 大川出: 土と基礎、34-4、17) 道路橋樑方書同解説、V 耐震設計編、1985、18) 野澤太三他: 土と基礎、32-9、19) 松田時彦: 東京直下型地震に関する調査、1974

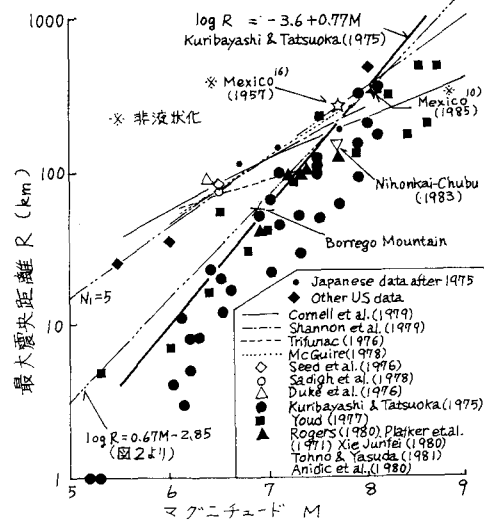


図3 液状化の発生範囲(時松⁽¹⁴⁾)を編集、加筆)

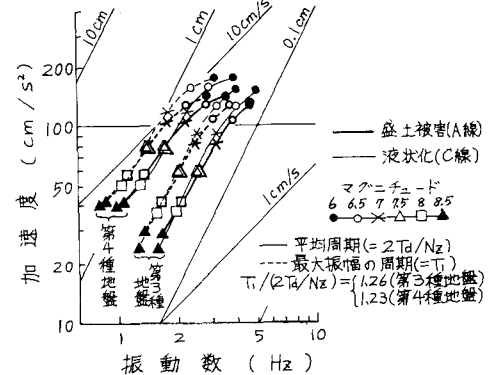


図4 盛土被害、液状化の最遠地点の地盤振動

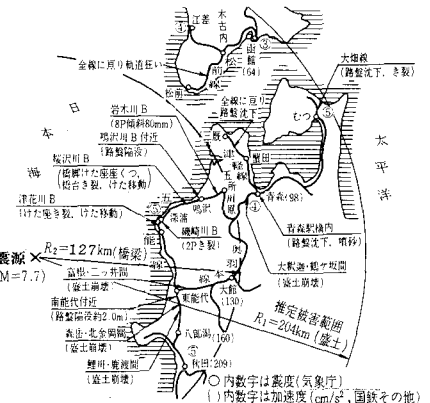


図5 日本海中部地震の際の鉄道被害⁽⁸⁾