

(70) 中国海城・唐山両地震における地盤液状化の概要

東京大学生産技術研究所 玉置 〇 龍岡 文夫
 中国北京市・中国建築科学院 符 聖 聡.
 (Fu Shengcong)

1. はじめに

中国では1975年2月4日、遼寧省海城県を中心にM=7.3の地震が、1976年7月28日に河北省唐山市南に震央を持つM=7.8の地震が発生し、甚大な物質的・人的被害が生じた。地震被害の概要は他所で報告されている^{1), 2), 3)}。本報告は両地震で生じた地盤の液状化の概要をとりまとめたものである。

2. 海城地震 (The Haicheng Earthquake)

図2に示す様に地盤液状化は震央近傍の新震区の後陸地帯よりも、震央の北西の沖積平野に集中して生じている。液状化した地盤の総面積は4,200km²と報告されている。図2のIは液状化の程度が低いとされている領域で、液状化は河川堤防沿いなどの限定された所に生じ、IIは広範囲な地盤で液状化が生じ、橋梁・建物・盛土などに甚大な被害を生じさせた領域である。中でも、遼河(Liao River)の河口に近い田庄台(Tian Zhuang Tai)付近(図2で破線で囲った部分、即ち図3の領域)では多数の噴砂が見られ、砂が地表に0.5~1mを積り、E所や、噴木の高さが3~5mにも達した所もあり、Eと報告されている。建設中であった遼河大橋(Liao River Highway Bridge)は地盤液状化のため基礎の支持地盤が河心方向に移動し、大被害が生じた。

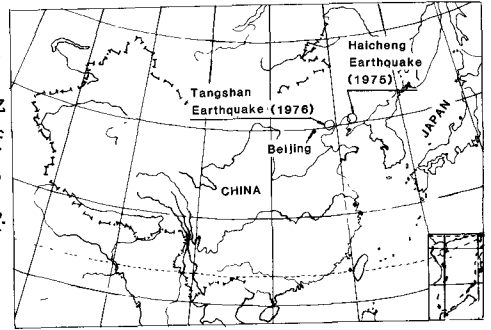


図-1

表2 日本気象庁震度階と中国震度階の比較

| 中国震度階 (1957) | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|--------------|---|----|-----|-----|---|----|-----|------|----|-----|----|-----|
| 気象庁震度階 | 0 | 1 | 2 | 2/3 | 3 | 4 | 4/5 | 5 | 6 | 6/7 | 7 | 7 |

液状化が生じた領域は中国震度階(表1参照)でVII度

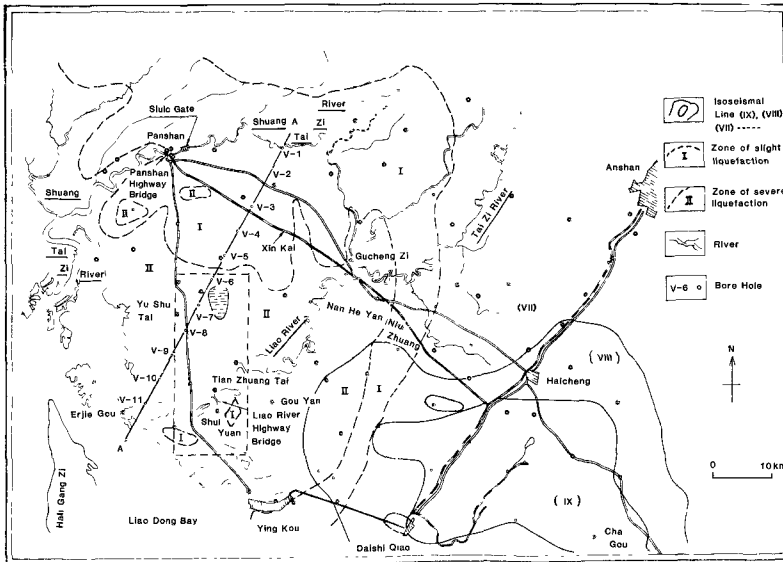
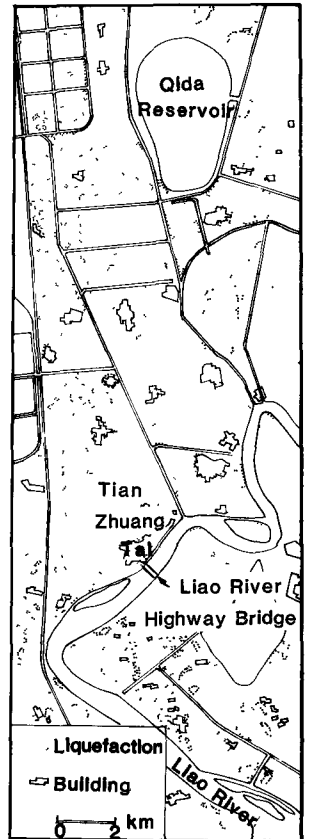


図2 海城地震での地盤液状化の概要、図3(右) 田庄台(Tian Zhuang Tai)付近の噴砂

であり、激震区と
言う訳でもない。
そのにもかかわらず
広範囲な地盤液
状化が生じたのは
この領域は滦河と
双台子河 (Shuang
Tai Zi River) の
下流地帯に相当し、
沖積砂層が発達し
ているからと考之
られる。この西河
川の流域は全体と
して沈積地帯とな
っており、第4紀
堆積層は田庄台で
は400mにも達
する。従って、
緩い状態にある砂
質層が厚く堆積
する条件があると言
えよう。

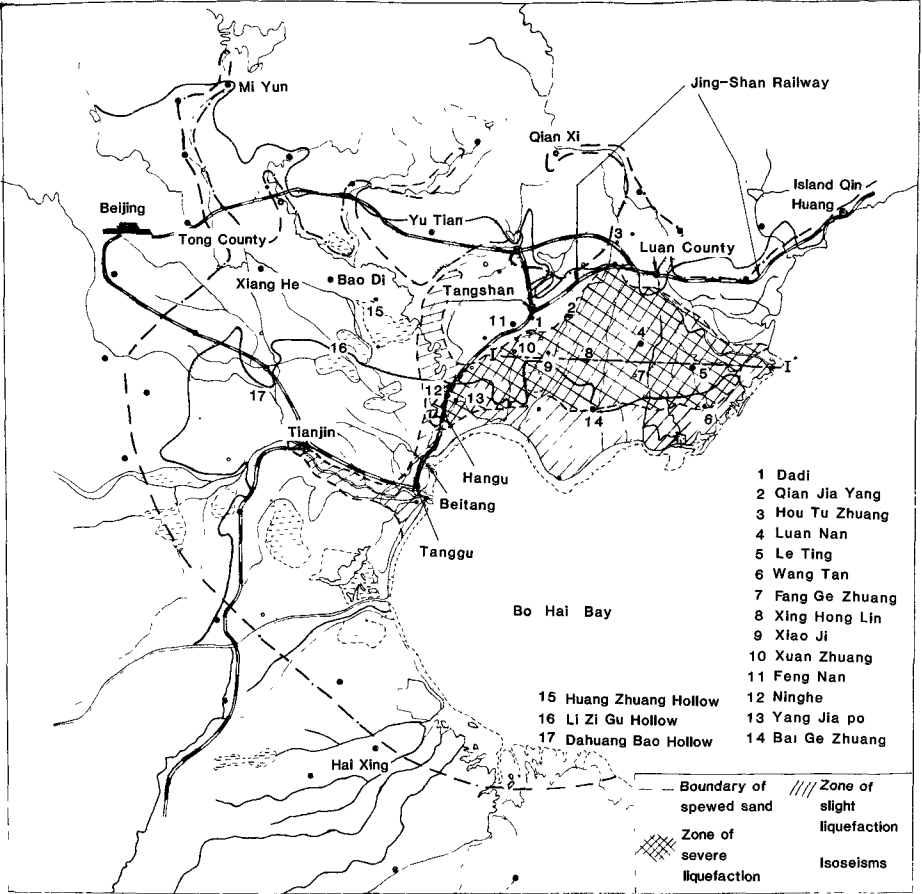


図4. 唐山地震での地盤液状化の概要 (图中的数字は図右下の地名参照)

最後に、表層の
粘土層の影響につ
いて述べる。図2に示す V_{10} , V_{11} には
液状化の程度の高い領域IIに属してい
るが局所的に地表での液状化現象は著し
くなかった。これは、地表に厚い粘性
土層が約7m存在し、下層の砂層で液
状化が生じていたにせよ、地表にその影
響があらわれなかつたためと思われる。

3. 唐山地震 (The Tangshan Earth- quake)

図4に示す様にこの場合も地盤液状化は
震央近くより、京山鉄道 (Jin-shan Railway) の南の沖積層が発達している領域で集中して生じた。構造物
の振動破壊は京山鉄道の北で特に著しかったが、京山鉄道の南では地盤液状化による構造物の被害が目立った。
液状化が生じた地盤の総面積は約25,000 km²と報告されている。図-5は図-4に示すI-I'に沿った
地質断面図である。この領域は滦河 (Luan River) や陡河 (Dou River) 等が形成した沖積平野であり、
砂層が発達している。図-6は樂亭 (Le Ting) 周辺の滦河の河道の変遷を示したものである。滦河(旧)の
北は砂丘地帯であり液状化は生じなかったが、滦河と滦河の海岸線 (图中的②) の間は激しい液状化
が生じた。②と現在の海岸線の間は厚い表土層(粘土質)があるため、地表に液状化現象があらわれなかつた。

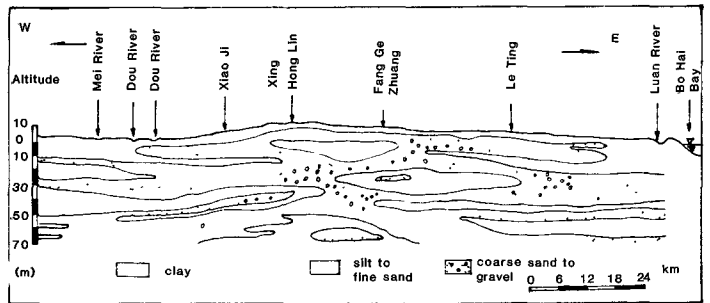


図5. 図-4のI-I'に沿った地質断面図

ったのであろう。

一般に震央距離が大きくなる程、軟弱地盤に震害が集中してくるようになる。そして、液状化も旧河道、埋立地に集中して生ずるようになる。^{4),5)}唐山地震の場合

震央から100km程度離れた天津市(Tianjian City)では上述の現象が生じた。震度は中国震度階級VII~VIII度(表1)で"激震"と言う訳でもない。記録された地表最大加速度も134galである。図-7は天津市の地盤液状化の様子を、更に図-8は、図-7に示す破綻の部分を詳細に示している。旧河道沿いに液状化が集中して生じていることが分かる。図-8に示す天津毛糸工場(Mao Tiao Factory)では、敷地内に1,000以上の噴砂丘が見つかったと言う。敷地内の噴砂の総量は4,000m²にも達したと報告されている。この様な地盤液状化の為に、れんが造の工場建物は基礎の不等次下向移動による被害を受けた。れんが造の建物は揺動による、破壊すると一瞬の内に瓦礫の山と化し、多くの人命が失われることが多いが、地盤液状化によるれんが造の建物の被害では一般にそのようなことは生じないようである。写真1は、1981年8月に図-7のA点で撮影したアポートを示す。これは、地盤が液状化のため小河川(これは、海河(Hai River)の旧河道の痕跡)の方向(南へ)へ動き強制水平変位と鉛直変位とアポートに与えたためである。地表面での基礎のクランク幅は合計30cmであり、最大不等次下は10数cmであった。このアポートの右半分は居住に用いられていたが、これは揺動被害が甚大ではなかった証拠であらう。

地盤液状化による地盤の不等次下、機械の地盤内へののり



写真1. 図-7のAのアポート(写真左が南の方向)

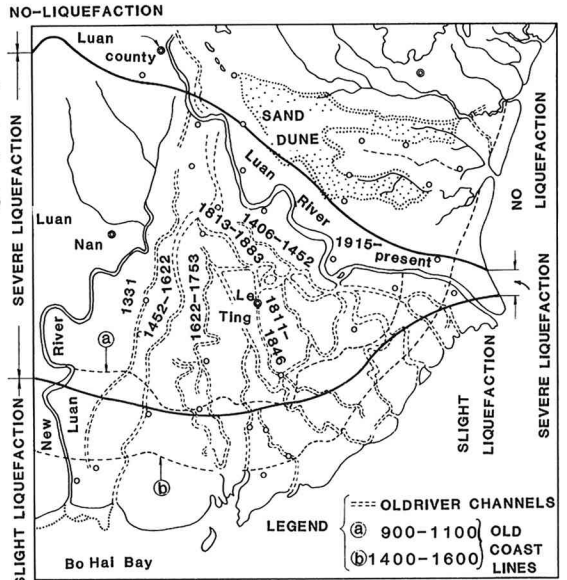


図-6. 楽亭(Le Ting)周辺での液状化と旧河道の関係(図中の数字は西暦年)。

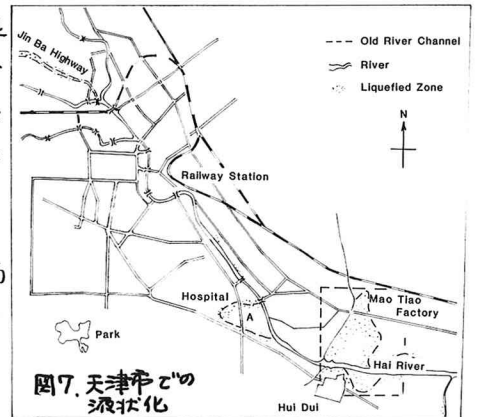


図7. 天津市での液状化

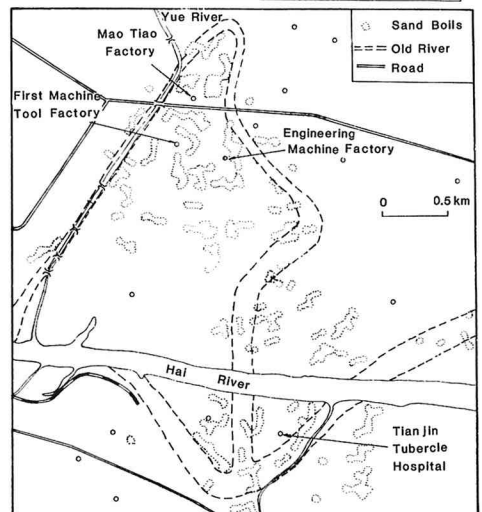


図8. 図-7の破綻内の液状化の詳細

込みにより、埋立地盤上に建設された機械工場は精密機械の精度狂いという甚大な被害を受けた。図-8に示す機械工場 (Engineering Machine Factory) がその例である。

4. 液状化地点の震度

日本での経験では、液状化した地点の震度は気象庁 (JMA) 震度階で5度以上であり、地表最大加速度で80 gal以上である。中国の両地震では、液状化した地点の震度は中国震度階で7度以上であり、これは地表最大加速度で100 gal以上に相当しており、日本での経験とよく対応している様である。

日本の経験では、主要な液状化現象が見られた最大の震央距離 R_{max} (km) は、 $M > 6$ の地震に対して、 $\log_{10} R_{max} = 0.77M - 3.6$ とあらわされるようである (図-9)^{4), 5)} Youd⁶⁾ はこれは日本以外のデータを追加している。図中の*印のデータのMの値はその後の調査に基づいて変更してある。その他のデータもつけ加えてある。^{8), 9)} 海城・唐山地震のデータは図-9に●印で示されているが、この場合も、日本の経験による限界線近くにプロットされている。以上のことから、この経験式は近似式としては、相当普遍的に成り立っている様である。

5. まとめ

- (1) 海城・唐山両地震においても広範囲な地盤液状化が生じ、橋梁・建物・盛土を含む広範囲な構造物に被害を与えた。その被害は主に地盤の不等沈下、水平移動、支持力の喪失による生じている。
- (2) 主に沖積地盤、特に旧河道・埋立地で集中的に液状化が生じた。
- (3) 液状化が生じた地盤の地表最大加速度は100 gal以上と推定された。
- (4) 地盤に液状化が生ずる最大震央距離 R_{max} (km) は、 $\log_{10} R_{max} = 0.77M - 3.6$ に大略合致していた。(3), (4)の結論は日本での経験に大略合致している。

謝辞

本研究は財団法人鹿島学術振興財団の援助があり、これにより実現できた。田村重四郎・片山恒雄両教授には色々便宜を図っていただき、又適宜な助言をいただいた。山田真一・高光道枝氏には図面作成を手伝っていただいた。関係各位に末筆ながら感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田村・岡本・久保・片山・龍岡・韓・小川・野中, "海城・唐山両地震の被害と中国の耐震研究," 生産研究, 34巻, 1号.
- 2) 田村・片山 龍岡野中(1981), "海城・唐山地震による被害の訪中調査報告," 土木学会誌, 67巻, 2号.
- 3) 野中・片山(1981), "最近の中国における橋梁の地震被害," 第16回地震工学研究委員会.
- 4) 栗林・龍岡吉田(1974), "明治以降の中国の地盤液状化履歴," 土木研究月報 30号.
- 5) Kuribayashi & Tatsuoka (1975), "Brief Review of Liquefaction during Earthquakes in Japan," Soils and Found.
- 6) Youd (1977), "Discussion," Soils and Found.
- 7) Kanamori & Jennings, "Determination of Local Magnitude, M_L , from Strong Motion Accelerograms," Bull. Seis. Soc. Amer. 61: 68.
- 8) Davis & Berrill (1981), Private Communication.
- 9) Tohno & Yasuda, "Liquefaction of the Ground during the 1978 Miyagi-ken - Oki Earthquake," Soils and Found.

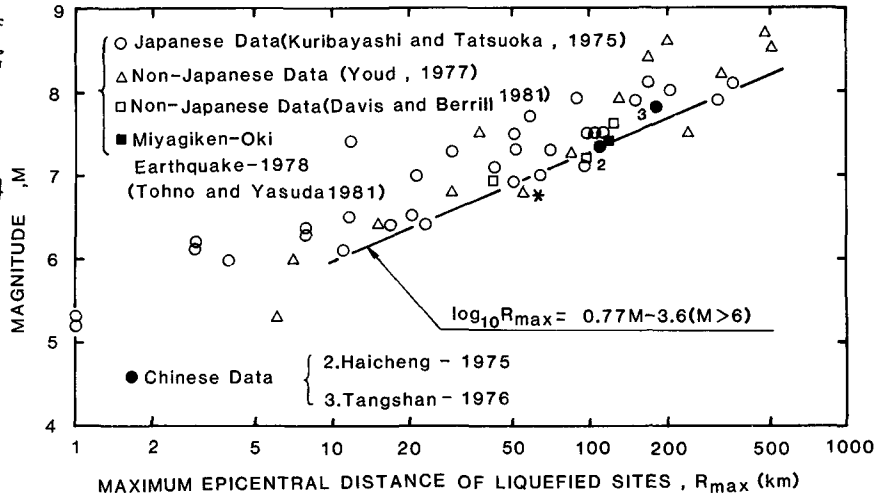


図-9 地盤液状化が生ずる最大震央距離 R_{max} とマグニチュード M の関係