

(53) 最近の中国における橋梁の地震被害

中央大学大学院

学生員 野中 昌明

東京大学生産技術研究所

正員 片山 恒雄

1. まえがき

1966年から1976年にかけて、華北地区の渤海を中心としてM=7以上の大震が5回(唐山地震の余震を含む)発生した(図1)。とくに遼寧省海城地震と河北省唐山地震は工業化の進んだ地区の土木・建築構造物に甚大な被害をもたらした。本報告は、筆者らが収集してきた関係資料から、両地震による橋梁被害の概要をまとめたものである。

2. 海城地震と唐山地震

**海城地震:**1975年2月4日午後7時36分(現地時刻)、遼寧省海城-營口地区にM=7.3の地震が発生した。震央は海城の南東20kmの

岔溝村近、震源深度は12kmであり、遼寧省の歴史地震の中では最大のものと報告されている。海城地区はマグネサイトを中心とする人口の集中した鉄工業生産地帯で、海城の北東約30kmには鉄鋼コンビナートのある工業都市鞍山市がある。図2に海城地震の震度分布を示す<sup>(1)</sup>。中国では1957年より修正メルカリ震度階に準じた12階震度表示を用いており、日本の気象庁震度階とのおおよその対応を表1に示す<sup>(2)</sup>。震度6に相当する面積は760km<sup>2</sup>に及んでいる。構造物の被害は、鞍山-海城-營口-蓋県を結ぶ鉄道を境界として異なり<sup>(3)</sup>、南東側では主に構造物の振動による被害、北西側では液化状土・スベリ等による地盤支持力の低下が原因となる被害が目立った。地盤条件の相違による震害の差は顕著であり、震度分布も震度Ⅷの地区が北西方向に異常に広がっている。主震後1ヶ月間にM=5以上の余震が5つ発生したが、M=6を越えるものはなかった。海城地震は、地震予知が成功した地震として有名である。地震発生の日、遼寧省革命委員会の防災指令に基づき多くの行政単位で避難が完了していたので、人身被害は極めて少なかった(明確な数字は不明)と報告されている<sup>(4)</sup>。

**唐山地震<sup>(4)</sup>:**1976年7月28日午前3時43分、河北省唐山市の南部に震央をもつM=7.8の地震が発生した。震源の深さは12~16kmと報告されている。唐山市は人口約100万の発鉄都市で約百年の歴史をもつ。この地震による被害が歴史上まれに見るほど悲惨なものであったことは、死者24.2万人、重傷者16.4万人の統計によっても明らかであり<sup>(5)</sup>、予知の成功した海城地震とは異なる。主震後、11月15日の寧河地震(M=6.9)を含めてM=6以上の余震が7回発生したが、特に主震発生当日の午後6時46分には発生した滦县地震(M=7.1)の影響は大きかった。図3に唐山地震および滦县地震の震度分布を示す<sup>(6)</sup>。唐山地震による最高震度はXIであり、唐山市内の約4分の1の地域がこれにあたる。震度階X以上の地域の面積は約370km<sup>2</sup>で、

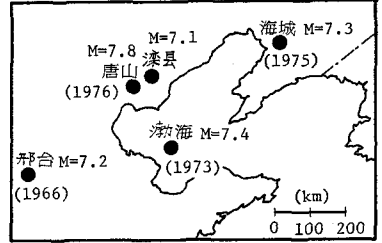


図1. 華北地区の地震

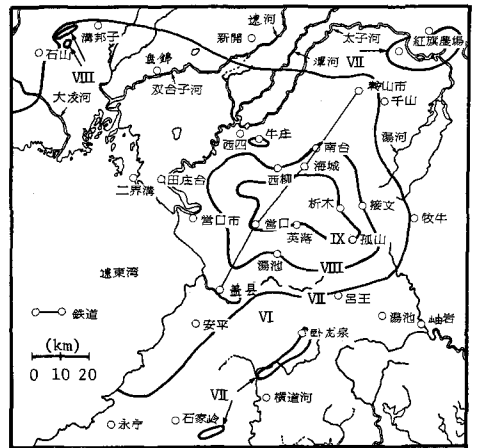


図2. 海城地震の震度分布<sup>(1)</sup>

表1. 中国震度階と日本気象庁震度階の対応<sup>(2)</sup>

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	4	4	5	6	6	7	7

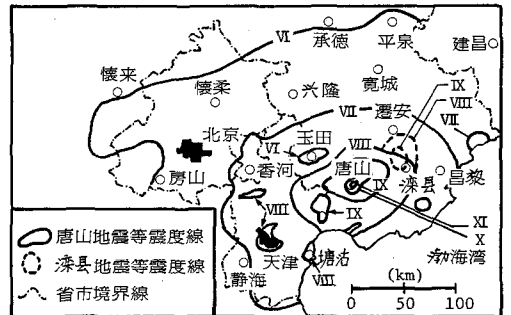


図3. 唐山地震の震度分布<sup>(6)</sup>

これらの地域では、少数のRCラーメン構造の建築物を除いて、ほとんどすべての建物が倒壊した。震度IX以上（気象庁震度階で6以上）の地域は約1430<sup>km</sup>²、東京都23区の面積の約2.5倍に及んでいる。被害は、建築物のみならず、各種土木構造物・産業施設・都市施設のすべてに発生した。被害が大きくなった主な原因は以下の4点にまとめられる<sup>(5)</sup>。1)唐山市の基本震度（当該地域に将来の一定期間に発生する最高震度階）はVIであり、耐震設計を必要とするレベル以下であったため、ほとんどの構造物が地震力を考えずに設計されていた。2)広い範囲に地盤の液状化が発生した。噴水冒砂地区の面積は24,000<sup>km</sup>²に達したと報告されている<sup>(6)</sup>。3)主震に続いて発生したM=6以上の7回の地震が被害を一層ひどくした。4)唐山市が人口密度の高い工業都市であり、震源が市中心部の直下にあった。

### 3. 橋梁被害の概要

**海城地震**：遼寧省中南部の鉄道橋の大部分は鋼またはRCの桁橋であり、石積みまたは無筋コンクリートの橋脚と場所打ち杭基礎を有している。道路橋は鋼またはRCの桁橋、RCスラブ橋、石造アーチ橋またはRC双曲アーチ橋がほとんどであり、石積みまたはRC柱式の橋脚と場所打ち杭基礎を有している。この一帯は歴史上強い地震の記載がなく、耐震設計された橋はなかった。図4に主要な橋の位置を、また表2に橋の被害率を示す。交通部公路规划设计院の調査によると、盤山～田庄白間・大石橋～水源間・管口～二道溝間の道路橋33橋（総延長1792<sup>m</sup>）のうち、10橋（総延長1401<sup>m</sup>）に中程度破壊から全破壊が生じたといわれている。橋の被害も地盤条件に強く影響され、西部地区（鉄道の北西側）に集中した。

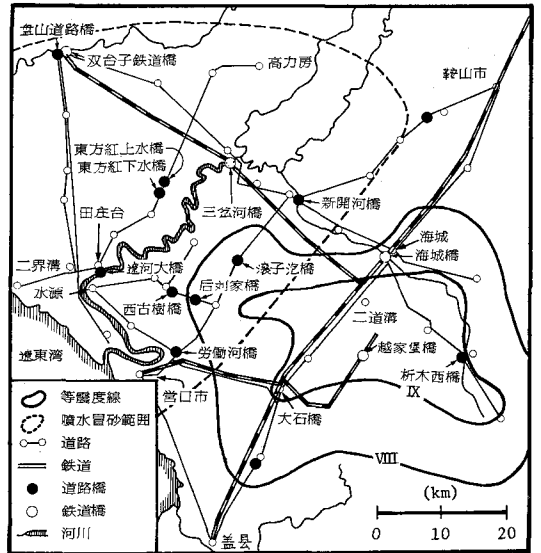


図4. 海城地区の主な橋梁の位置と震度分布<sup>(1)</sup>

この地区の大部分は河流による沖積地と海浜平原からなる3種地盤であり（表3）、地下水位の高い粉細砂が厚く堆積している。いたるところで発生した（図4点線部分）液状化が橋梁被害の主因となった。西部地区の粉細砂と軟弱粘性土からなる地盤上では、38橋の鉄道橋のうち32橋（84.2%）、125橋の道路橋のうち63橋（49.6%）がはんらかの被害を受けた。西部地区の橋梁被害の全般的な特徴は、河岸や河床における表層土のすべりにより橋脚底部が水平変位を生じたり、地盤支持力の低下に伴う橋脚の不等沈下で橋面に起伏を生じたものが多かったことである。西部地区以外の地域では表層土が薄く、ほとんどが1・2種地盤に属している。IX度区において被害を受けた橋は比較的多いが、そのほとんどが適当な補修をすれば使用可能な局部破壊であり、完全に破壊した橋は少なかった。VIII度区では鉄道橋の被害はなく、道路橋の被害も局部破壊で済んだ（表2参照）。この地区の比較的大きな被害は主に下部構造に発生したが、大多数の無筋コンクリートや石積みの橋脚が地震によく耐えたことは注目に値する<sup>(1)</sup>。

表2. 各震度区における橋梁の被害の割合<sup>(1)</sup>

区域	種類	橋梁形式	IX度区				VIII度区				VII度区					
			無害程度	微損	破損	無損	微損	破損	微損	無損	微損	破損	微損	無損		
西部地区	鉄道橋	桁式				0	0	22	78	0	0	3	21	55	21	
		道路橋	桁式				4	17	21	7	41	4	3	15	21	57
その他の地区	道路橋	アーチ式				13	7	13	27	40	0	0	12	44	44	
		鉄道橋	桁式	0	1	5	21	73	0	0	0	100	0	0	0	100
	道路橋	桁式	0	1	7	27	65	0	0	8	27	65	0	3	6	91
		アーチ式	0	0	17	21	62	0	0	14	14	62	0	5	0	95

破壊：桁の落下、アーチの崩壊、橋脚の折損。使用不能。  
 破壊：主な承重部材の破壊、断裂。承载能力低下。  
 破損：局部破壊。適当な補強をすれば使用可能。  
 微損：非承重部材の破壊。使用可能。  
 無損：被害はなし。

表3. 地盤の分類<sup>(8)</sup>

1類	中程度以下に風化した基岩。
2類	1, 3類を除いた一般に安定な土層。
3類	飽和したゆるい砂、淤泥、淤泥質粘土のある土層および埋立てた土。

**唐山地震<sup>(4)</sup>**：唐山地区ではんらかの被害を受けた道路橋は230橋、総延長9,700<sup>m</sup>に及び、当該地区内の道路橋

総延長の62%にあたる<sup>(3)</sup>。唐山から約100km離れた天津地区(震度階Ⅷ~Ⅸ)でも、延長にして約21%の道路橋にはならぬの被害が発生した<sup>(9)</sup>。被害は鉄道橋にも及んでおり、被害率40%(橋の個数に対するものか延長に対するものか不明)と報告されている<sup>(9)</sup>。道路橋13/橋の震害調査<sup>(10)</sup>によれば、落橋に至ったものは18、大被害16、中被害42、残り55橋は小被害であった。ここに言う大被害とは修復可能な被害を受けたものであり、中被害は構造部材にかなりの被害を受けたが修復可能なもの、また小被害は二次部材の被害または無被害を表わす。図5に震度Ⅹ以上の主な橋の位置を示す。この地域にあった道路橋22及び鉄道橋3の被害の内訳は、落橋・倒壊が7、大被害6、中被害4、小被害8であった<sup>(10)</sup>。震度階Ⅹ以上の地域の道路橋の約半数が修復不能な被害を受けたが、中国の関係技術者はむしろ「耐震設計・耐震補強がなされていなかたにもかかわらず、約半数が修復可能な小被害にとどまった」ことには意義を見出そうとしているように思われる<sup>(4)</sup>。落橋に至った18橋のうち、15橋はならぬの形で河岸の崩壊・すべりに関係したもので、明らかに地震動による慣性力が原因で落橋したものは3橋のみであった。桁のほとんどは橋軸方向に落下してあり、ただ1スパンのみ外側の桁が横方向に落下したものがあつた。比較的耐震性の良かった橋としては、高さが低く一体構造のもの、たわみ性の大きなパイプ橋、つなぎばりて橋脚下端を連結した構造、杭本数の多い基礎をもつ橋があつた<sup>(4)</sup>。

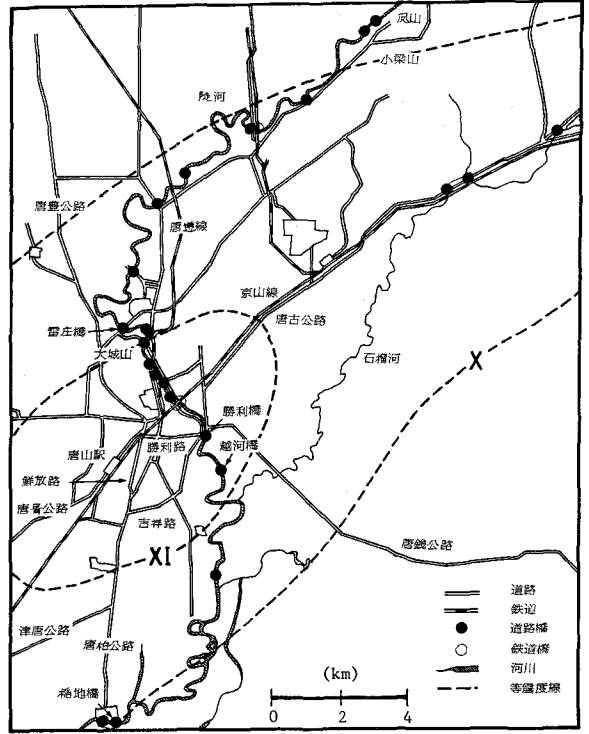


図5. 唐山地区の主な橋梁の位置と震度分布

4. 具体的被害例

毎地地震：盤山橋は盤山鎮の南端の双台子河にあり、1973年に完成した14スパン全長315.64mのプレキャストRC単純支持T桁の道路橋である(図6)。2本の柱体を橋軸直角方向に並べたRC橋脚と4本の杭からなる基礎を有し、地層は粉砂・細砂・淤泥質土からなる。被害は、地表面下15m前後にある粉砂層が液状化を来したことによる。2月4日の本震で、盤山側の表層地盤がすべり、各橋脚は河の中央方向に変位したが、桁同士が互いにはつかりあつて拘束されたために、2号・3号・4号橋脚は河岸方向に傾斜し、柱体部は破水体上で切断した。施工の失敗で杭長の足りなかつた7号橋脚は15cm沈下し、その左右で橋面は波形を呈した。さらに、2月9日のM=5の余震で、さらにすべりを生じたため、8号橋脚の柱体部は切断し倒れ、7号橋脚が沈下したために、7号・8号・9号の3スパンが落下した。橋面の下には送ガス管が配置されてあつたので、落下した3スパンの自重が管体に加わり、11号橋脚は管体に引張られ、盤山側に傾いたために、11号スパンも落下した<sup>(11)</sup>。

唐山地震：勝利橋は震度階Ⅹ度区にあり(図5参照)、1966年に完成した5スパンRC単純支持T桁(5×11m)の道路橋である(図7)。橋脚は直径1mの杭3本からなる高さ6.5mのバイルメント型式で、約18mの根入れを有しており、橋台は高さ8mの重力式U型石積み構造であつた。地盤は両橋台の後方では地表から7~8mまでは硬い塑性粘土であり、その下層は細砂及び中砂よりなる。河床では地表から10m位の深さまで砂層である。

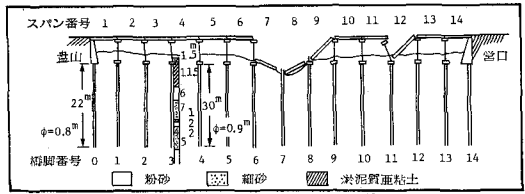


図6. 盤山橋全体図<sup>(11)</sup>

地震後の現場調査によれば、橋台の底部から4~6m(地表面から12~14m)の深さの砂層で液状化が発生した。橋台が液状化層に沿って水平方向にすべりだしたため(図8)、唐山側の橋台で1.15m、反対側の橋台で2.45mそれぞれ河の中央方向に変位し、同時に沈下・傾斜した<sup>(11)</sup>。このため、兩岸とも、橋台の後方10~15mの範囲に数本の地割れが生じ、0.5~0.6m沈下した。また、河岸に隣接した橋脚1基は根本から折れて倒壊し、これは支持されていた2スパンが落下した<sup>(12)</sup>。



図7. 勝利橋の地震後の全景

楊花庄橋は天津市の震度IX地区にあった双曲アーチ橋で、21mのスパン8連からなる。橋脚は直径1mの2柱式パイラメントで、最も高い橋脚は6.4mであった。地震後、中央に近い4号スパンの支間が0.8m短くなり、アーチ頂部が1.4m持ち上がった(図9)。このため、アーチ頂部と橋脚頂部に相対変位が生じ、さらにアーチ頂部ではコンクリートが剥落して鉄筋が露出した。

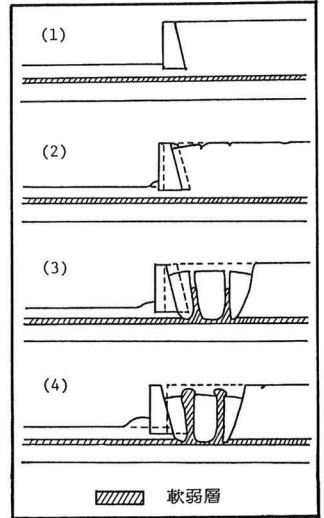


図8. 橋台の水平型すべり<sup>(11)</sup>

### 5. まとめ

両地震による橋の被害の特徴をまとめると次のようになる。1)中国の鉄道橋は道路橋にくらべ一概に強度に余裕がある上、施工の質が高いため、被害の大部分は支承に集中し、一部で橋脚の傾斜・亀裂等の被害もあったが、落橋に至ったものは無かった。2)液状化による影響は両地震で異なった。海城地震では、西部地区に大量の噴水冒砂現象が現われ、杭基礎の比較的浅い道路橋の特にアーチ橋の桁が多く崩壊した。唐山地震では液状化の影響を受けた橋も多かったが、沈下量は比較的小さく、不同沈下の著しいものはなかった。これは、液状化が比較的浅い位置の小さな土層で生じたためと思われる、当該橋梁の杭基礎がかなり深かったことも有利であったと判断されている。3)上部工の被害では、軟弱地盤上のアーチ橋の被害がある。鋼材の絶対量が不足している中国では、鋼道路橋の数は極めて少なく、RCの桁橋およびアーチ橋が多い。海城地震ではアーチ橋の脚部・クラウン・1/4スパン部・腹拱に亀裂・もり上がりが多く見られた。唐山地震では被害の多くが桁部そのものよりも、支承部周辺に集中した。4)橋脚にはあらゆる種類の被害が発生しているが、特に、橋軸直角方向に一列に打ち込んだ杭の頭部を横ばりで連結

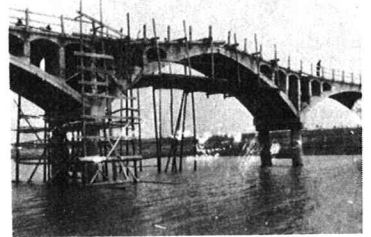


図9. 楊花庄橋第4スパンの被害状況

した「パイラメント橋脚」は傾斜にも切断にも弱かったようである。5)埋め込みの不足した重カ式橋台や、杭基礎の深さ・断面積の不足した橋台では、すべりが多くみられた。橋台のすべりは桁を押し出し、桁の亀裂・破損、アンカーボルトのせん断破壊、さらには桁の落下の原因ともなった。

本報告には片山が昨年12月、橋梁振動の技術研究会(団長:伊藤学)に参加して中国で得た資料を参考に<sup>(6)</sup>した。

### 「参考文献」

- 1) 中国科学院工程力学研究所編:「海城地震災害」,地震出版社,1979.
- 2) 地震工程概論编写組編:「地震工程概論」,科学出版社,1977.
- 3) 蔣凡編:「海城地震」,地震出版社,1978.
- 4) (財)日中経済協会編:「日本橋梁振動技術助研中間報告書」,1981.
- 5) 陳寿榮,周炳章,董民川編:「唐山地震房屋震害和城市地震防災」,1980.
- 6) 陳非比,張建華,劉秉良,商宏寬編:「唐山地震」,地震出版社,1979.
- 7) 叶燧先,劉錫英著:「唐山地震の工程経験と城市地震防災」,1979.
- 8) 国家基本建設委員会建築科學研究院:「工業与民用建築抗震設計規範(TJ 11-78)」,中国建築工業出版社,1979.
- 9) Ye Yaoxian: "Damage to Lifeline System and Other Urban Vital Facilities from the Tanshan, China Earthquake of July 28, 1976".
- 10) 徐風云著:「唐山地震高烈度区橋梁震害簡介」,1980.
- 11) 何慶心,高金英著:「地震時橋台の滑動問題」,中国科学院工程力学研究所報告,1978.
- 12) 交通部公路规划計院抗震組編:「唐山—豊南地震公路橋梁震害簡介」,1980.
- 13) 尾池和夫著:「中国の地震予知」,NHKブックス,1978.