

海城・唐山地震の被害と中国の耐震研究

Damage Due to Haicheng and Tangshan Earthquakes and Research on Earthquake Engineering in China

田村重四郎*・岡本舜三**・久保慶三郎***・片山恒雄***

龍岡文夫***・韓国城*・小川好****・野中昌明*****

Choshiro TAMURA, Shunzo OKAMOTO, Keizaburo KUBO, Tsuneo KATAYAMA, Fumio TATSUOKA

Guo Cheng HAN, Yoshimi OGAWA and Masaaki NONAKA

1975年海城地震、1976年唐山地震によって中国では甚大な人的および物的被害が生じた。本報告は、東京大学生産技術研究所の耐震工学の研究者を中心とした調査団が1981年夏に中国を訪問して海城県・唐山市・天津市をはじめとする各地で調査した結果をとりまとめたものである。この調査によって、両地震による建築物・土木構造物等の被害の実体はかなり明らかになった。特にレンガ造りの構造物の脆弱さが再認識された一方、よく設計・施工されている構造物の被害は少なかったことがわかった。

I. 調査旅行の目的と概要

I-1 調査旅行に至った経緯

1975年2月4日、遼寧省海城県*を中心にM=7.3の地震が発生した。引き続いて翌1976年7月28日には、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。直前予知に成功した海城地震では、構造物等の被害は広範に亘ったが、人命損失は最小限で食い止められた。一方、人口100万の工業都市の直下に起こった唐山地震は、各種構造物に甚大な被害を与えるとともに、史上稀に見る人的被害を発生させた。新聞情報による死者数は、一時期100万人とも60万人とも伝えられた。

これらの地震は発生直後からわが国でも多くの地震工学者の注目するところであったが、その全ぼう、特に地震工学的見地からの情報は、ごく最近までほとんどえられなかった。1979年頃より徐々に、中国から両地震の被害に関する工学的論文が発表されるようになった。いずれも総括的記述を中心とした論文ではあったが、その背後に貴重な地震工学上の教訓と資料の存在を感じさせるものが多かった。

そこで1980年4月頃から、東京大学生産技術研究所の有志数名は、海城、唐山両地震の被害に特に重点をおいて、最近の中国の地震学および地震工学の論文や刊行物の組織的収集に着手し、数カ月の内に100を超える資料を集めることができた。その大半は地震予知がらみの地震学関係の論文であったとはいえ、両地震の被害とそれらの影響に関しても、予想以上に興味あるデータがあることが明らかになった。

これらの予備調査の結果、海城、唐山両地震の被害を、現在の地震工学の視点から、今までの多くの震害例と対比・研究することにより、耐震工学の発展に有用な知見が得られるものと判断するに至った。このような経緯に基づき、1980年11月、「唐山地震を含む最近の中国の地震被害の耐震工学的解釈に関する日中共同研究」という研究題目で鹿島学術振興財団に研究助成を申請した。この研究の目的は、「1975年海城地震および1976年唐山地震を中心とした最近の中国の地震被害を、日中の地震工学者が共同で検討することにより、日中双方の耐震工学の発展および地震災害の軽減に役立つ工学的資料を得る」ことにある。対象とする地震災害は、主として都市施設・ダム・橋梁・産業施設に強く係わるものとし、建築構造物は当初は加えないこととした。

研究助成申請書に掲げた具体的検討項目は

- (1) 最近の中国の地震によるダムおよび橋梁の挙動に関する研究
- (2) 都市施設の地震被害と復旧に関する調査研究

*県は市の下の行政単位であり、海城県は鞍山市の管轄である。

* 東京大学生産技術研究所 第1部

** 東京大学名誉教授

*** 東京大学生産技術研究所 第5部

**** 東京都土木技術研究所 地象部

***** 中央大学大学院

- (3) 産業施設・機器の地震被害の調査研究
 - (4) 液状化を含む地盤の地震工学的調査研究
 - (5) 中国の強震観測記録の解析と検討
- の5つであり、以下の3つの段階に従って研究を実施することとした。

- (1) 収集ずみの中国側資料を詳細に検討し問題点を抽出する。
- (2) 日本側研究者が訪中し、中国側研究者との直接討議により、前項(1)の調査結果を検討するとともに、詳細な被害データを収集する。
- (3) 中国から数名の研究者を招請し、前項(1),(2)の調査結果を基に共同で十分な定性的・定量的解析を実施し、研究成果を取りまとめる。

研究助成を申請した時点における共同研究者は、代表田村を含めて次の8名である：東京大学生産技術研究所教授 久保慶三郎、柴田 碧、田村重四郎(代表)、同助教授 片山恒雄、龍岡文夫、東京都土木研究所 研究員 小川 好、中央大学理工学部 大学院学生 野中昌明、大連工学院 講師 韓 国城。なお、韓は中国政府派遣研究員として1980年4月より田村の指導のもとにダム耐震性の研究に従事している。

その後も関係資料の収集・整理・検討を続けていたが

幸い、1981年3月、鹿島学術振興財団の助成を受けることが決まった。これにより共同研究を具体化する足掛かりが得られたので、前述の8名の共同研究者に岡本舜三 東京大学名誉教授に顧問として参加をお願いして、計9名から成る私的な研究グループ「耐震構造日中共同研究グループ」を発足させ、日本側研究者の訪中による調査、中国側研究者の訪日による共同研究の準備を開始した。

中華人民共和国駐日本国大使館の科学技術処を仲介とした何回かの書面による交渉の結果、中国側は国家基本建設委員会抗震弁公室が窓口となって今回の調査研究に協力することが決定した。日本側研究者の訪中日程、希望訪問先等に関しては、ほぼ完全に日本側グループの希望が入れられ、1981年8月に調査旅行が実現した。なお、中国側研究者の訪日を含む共同研究全体の進め方等に関しては、日本側研究者が訪中した際に中国側との話し合いで決定することにした。

I-2 調査活動の概要

今回の調査には、耐震構造日中共同研究グループのうち柴田を除く8名が参加した。調査旅行の前半は2班にわかれて行動し、A班(田村・韓これに途中から岡本が加わった)は大連工学院で地震工学の講義を行い、B

表1 調査旅行日程の概要

月 日	A班(田村・韓・岡本)	宿泊地	B班(久保・片山・龍岡・小川・野中)	宿泊地
8.1(土)	田村・韓：成田→北京	北 京		
2(日)	北京→大連	大 連		
3(月)	大連工学院にて講義	”		
4(火)	”	”		
5(水)	”	”		
6(木)	”	”		
7(金)	”	”		
8(土)	” (岡本：成田→北京)	”	成田→北京	北 京
9(日)	岡本：北京→大連	”	旅程打合わせ	北 京
10(月)	大連工学院にて講義	”	北京→ハルビン	ハルビン
11(火)	”	”	工程力学研究所	ハルビン
12(水)	”	”	”	車中泊
13(木)	”	”	瀋陽→鞍山、鞍山市内	鞍 山
14(金)	”	”	鞍山→營口→大石橋→鞍山	鞍 山
15(土)	”	”	鞍山→海城→大連	大 連
16(日)	大連工学院訪問、大連→瀋陽			瀋 陽
17(月)	遼寧省建設委員会主催による技術座談会			車中泊
18(火)	唐山市内調査			唐 山
19(水)	” ,唐山→天津			天 津
20(木)	天津市内調査、天津→北京			北 京
21(金)	中国建築科学研究院訪問			”
22(土)	国家基本建設委員会表敬訪問、北京市抗震弁公室主催抗震技術交流座談会			”
23(日)	万里の長城・明の十三陵観光			”
24(月)	中国建築学会地震工学会学術委員会主催抗震技術座談会			”
25(火)	北京→成田			日 本

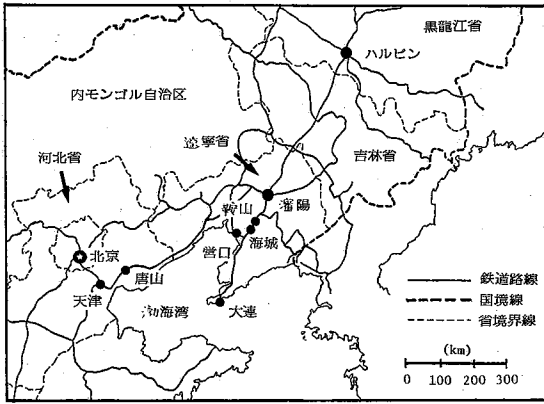


図1 訪問地および径路

班(久保・片山・龍岡・小川・野中)は1975年海城地震の被災地の調査を実施した。後半はA, B両班が合流し、1976年唐山地震の被災地の調査および北京における中国側研究者との打合わせを行った。表1は旅行日程の概要を、また図1は訪問地と調査旅行の径路を示したものである。

以下に、主としてB班(後半はA・B班合流)の日程に従って調査旅行の概略を述べる。なお、全行程にわたり国家基本建設委員会抗震弁公室の陳 寿梁(総合処副処長)および王 建寧(外事処)の両氏が同行してくれたほか、訪問地では各地方の抗震弁公室および関連機関の技術者が同行して各種の便宜をはかってくれた。

8月11日、ハルビン市において中国科学院の工程力学研究所を訪問、午前中は所内の各研究室の設備・活動状況等を視察、午後には所員約40名に対し、久保、片山、龍岡が日本の耐震工学研究の一端を紹介する講演を行った。翌12日は、海城、唐山地震の被害を中心とした最近の研究成果を、同研究所の5名の研究者が発表し、それらを基に日中双方の研究者が意見を交換した。

8月13日から15日までの3日間は海城地震被災地の踏査にあてられた。13日は鞍山市で、鞍山鋼鐵会社の工場施設の被害(全体に軽微であった)および補強工法、同所内の変電所の被害(やはり軽微であった)と補強工法を視察、14日は海城地震で各種構造物に多大な被害が発生した営口市を訪問した。営口市の市長および上水道・電力担当の技術者から被害の概要の説明を受けたあと、同市上水道の配水場および同市の1次変電所を訪問し、地震当時の様子とその後の対応について説明を受けた。帰路、大石橋においてマグネシウム工場を視察、同所技術者と耐震対策に関する技術交流を行った。15日は、海城県を調査、関係者から海城地震による海城県の被害および復旧について話を聞いたあと、被災建物の復旧後の状況、建設中の映画館、道路橋(海城橋)、鉄道橋等を視察した。

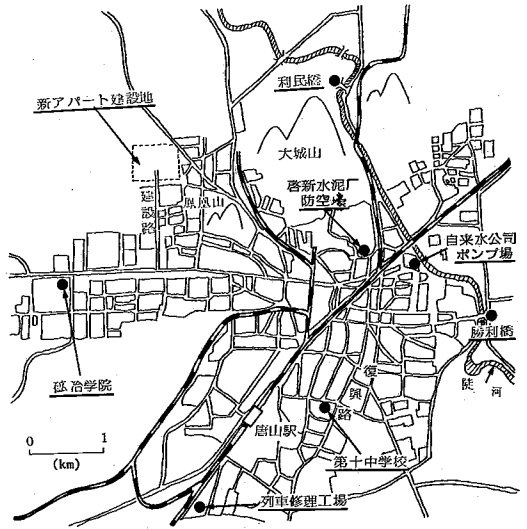


図2 唐山市市街地の概略

16日は日曜日であったが早朝より大連工学院を訪問、教育・研究の概況の説明を受け、水利工程系の耐震実験室におけるダム振動実験、土質実験室における室内土質実験、および応用力学系の振動実験室における実大のレンガ造壁の破壊実験を見学し、関係研究者との意見交換を行った。この日以降の調査では8名全員が同一行動をとった。17日には、瀋陽市において遼寧省建設委員会の主催による技術座談会が行われ、岡本・久保・田村・片山・龍岡が遼寧省の中堅土木技術者約40名に対し、日本の地震工学の最近の研究成果に関する講演を行った。

8月18日と19日の2日間は唐山市において唐山地震の被害状況と復旧の現状を調査した。18日午前、唐山市の関係者から唐山地震直後の状態およびその後の復興計画等について概略の説明を受け、同日午後、市内4カ所で当時の被害がそのまま保存されている場所を視察した。図2は唐山市の市街地部分の概略を示したものである。唐山駅の近くにある列車修理工場(写真1)*では、ほとんどすべての構造物が地震により壊滅的な被害を受けており、鑄鋼工場ではRC屋根トラスがすべて落下し、壊れかけた柱だけがただ無惨に残っているのみであった。直観的な感想としては、屋根がプレキャスト・コンクリートパネルであり、RC屋根トラスとともに頭の重い構造型式であったため、地震時に大きな慣性力が柱に作用したこと、これに対して柱の強度が十分でなく、さらにトラスの支承部分の構造が適当でなかったこと、の2つが主要な被害原因と思われた。鉄道の南部地区(路南地区)の第十中学校校庭では、唐山地震の主断層である唐山-古冶断層の見事な痕跡が視察できた。右ずれ断層がこの地点に残した食い違いは水平1.4m・上下0.5mに

*写真1~29は巻頭グラビア頁に掲載してある。

達しており、すぐ近くで最近試掘された下水道管路もまた地表面の断層の動きを反映した相対変位を示していた(写真2および3)。市街地北部で陡河を渡る6スパンの利民橋は、中央の3径間に、右側2径間、左側1径間を延長した橋長45mの道路橋である(写真4)。右岸側第1番目の橋脚が河心方向に傾き、右岸側第1、2スパンが落橋寸前の状態となったが、傾いた橋脚上部に桁受けを張り出して補強し現在も使用している。建設年次も地盤、基礎の詳細も不明であるが、河床地盤の変状が被害の主因と思われた。磁冶学院は市街地の西はずれにある専門大学であり、校内のほとんどすべての建物が倒壊(死者1270名)という大被害を受けた。そのうち図書館の被害が地震当時の状態のまま保存されている(写真5)。この建物は基本的には鉄筋コンクリート構造であろうが、鉄筋量も少なくレンガ柱やレンガ壁が相当量存在しており、また、ほとんど完全に崩壊しているため、建築物の力学的特性がどのようなものであったかを推測することは困難であった。

8月19日には、唐山地震の際に落橋した勝利橋の復旧後(実際には完全なかけ替えとなった)のようすを視察した(写真6, 7)。この付近では後述(Ⅱ-4)のように、河岸の盛土底部で液状化が発生したと考えられている。続いて、下水道の雨水排水ポンプ場、啓新水泥廠(セメント工場)の地下車庫、開滦給医院地下室を歴訪したが、これらの半地下または地下構造物は周辺の地上構造物にくらべてほとんど無被害に近かったとのことである。19日の午後は唐山市市街地の北西部に地震後建設の進んでいるアパート群を見学した(写真8)。唐山市の復興は1年半の計画・準備期間を経て1978年着手された。修理または再建を必要とする住宅、工業用建築物、公共建築物の総面積はのべ1400万 m^2 を超えると推定されており、この半分以上が住宅面積である。新しい唐山市の都市計画は過度の集中を避け、全市を3つの地区に分割して生産および市民生活の向上をはかろうとするもので、旧市街区(人口約25万)、東鉱山区(人口約30万)、新市街区(人口約10万)の一辺約25kmの三角形をなす3つの核を中心として建設が進められている。地震前に人口密度がきわめて高く、地震による大被害を受けた路南区は、石炭が埋蔵されていることもあって、将来は緑地帯になるということであった。

8月20日は午前中、天津市基本建設委員会の関係者から唐山地震による天津市の被害の状況の説明を受け、午後は液状化に伴って被害を受けた4階建レンガ造りアパート(写真9)、同様に液状化により建築物・機械設備が大きな被害を受けた工作機械工場(写真10)および現在開業準備中の地下鉄を見学した。天津市を中心とする地域は平均的に地盤条件が悪く、気象庁震度階4~5で想像される以上の被害が発生している。時間の余裕が無か

ったため、渤海湾に接していて最も被害が甚大であった漢沽(ハンギー)・塘沽(タンギー)地区は調査できなかった。

8月21日から24日までは北京市に滞在した。21日午前中は、中国建築科学研究院で耐震工学に関連した研究の現状の説明を受けたのち、構造試験室、耐震試験室および地盤基礎試験室を見学した。午後は、同研究院の11名の研究者による最近の研究結果の発表があり、質疑応答、意見の交換を行った。22日は国家基本建設委員会に彭敏副主任を表敬訪問したのち、同委員会抗震弁公室負責人程震文氏ほかの関係者と今後の共同研究の進め方等について議論し、基本的な合意を得た。さらに22日午後は、北京市抗震弁公室の主催による抗震技術交流会に出席、中国の研究者6名による唐山地震の被害、それ以後の北京市の地震防災対策、研究の現状等に関する発表を聞くことができた。24日には、中国建築学会地震工程學術委員会的主催による技術座談会に出席し、約40名の中国技術者に対し、岡本、久保、田村、片山、龍岡が講演を行った。

以上述べたように夜行列車を利用した移動を含めて、25日間の調査活動はかなりの強行日程であったが、幸い大きな事故もなく完了することができた。

Ⅱ. 海城・唐山地震による土木構造物の被害

Ⅱ-1 概 要

(1) 海 城 地 震

1975年2月4日午後7時36分、遼寧省海城縣を中心にM=7.3の地震が発生した。震央は海城縣の南東20kmにある岔溝付近、震源の深さは12kmであり、遼寧省の歴史地震の中では最大なものと報告されている。¹⁾海城地区は人口の集中したマグネサイトを中心とする鉍

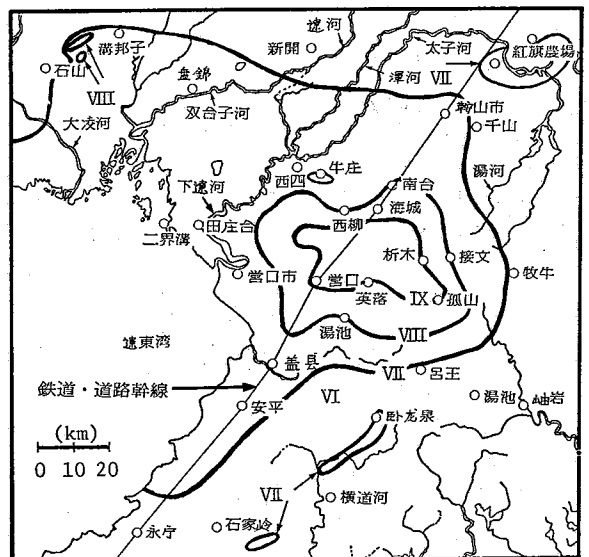


図3 海城地震の震度分布

表 2 日本気象庁震度階と中国震度階の対応²⁾

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

工業生産地帯で、被害は鉄鋼都市鞍山市（人口約 240 万人）、軽工業都市営口市（人口約 30 万人）にも及んでいる。図 3 に海城地震の震度分布を示す。¹⁾ 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 2 に示す*。この関係は、ほぼ、(気象庁震度階) = (中国震度階) ÷ 2 + 1 で与えられると考えてよい。震度 IX (気象庁震度階 6) の激震区は、海城と営口の丘陵地帯を中心とした 760 km² の範囲に及んだ。海城地震による構造物被害は、丘陵地帯をほぼ北東-南西方向に走る鉄道・道路幹線を境界として大きく異なり、南東側では主に構造物の振動による被害、北西側では液状化・すべり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。³⁾

遼寧省南部の地域は歴史上、M 6.5 以上の大地震が発生したことがなく、被害地震の記録が少ない。このため構造物には地震に対する措置がなされていなかった。レンガ構造は中国で広く用いられている建築形式であり、海城県、鞍山市、営口市の住宅建築、工場建築(写真 11)にも多く用いられているが、IX 度区では各種のレンガ構造物が多数破壊した(写真 12)。VIII 度・VII 度区では、特に下遼河一帯でレンガ煙突の倒壊とレンガ柱を有する工場の被害が多数みられた。レンガ構造で代表される住宅建築の各震度区における被害率を表 3 に示す。各種の RC 建築物の被害は一般に軽かった。部材の接合部・筋かい・囲壁に被害が発生した構造物は多かったが、完全な崩壊に至ったものは無かった。¹⁾

下遼河平原に発生した砂地盤の液状化は、今回の地震で最も際立った現象だった。噴水冒砂の発生した地区は 3000 km² に及び、河岸の崩壊、橋梁の破壊、埋設管の被害などの大きな原因となった。¹⁾

火力発電施設にもかなりの被害が生じた。被災地にあった 5 カ所の発電所の機能低下・停止による 80 万 kW の

出力低下、多くの変電所・送配電線の破壊等が原因となり、かなり広い範囲で停電し、また、これにより断水が起これり、救援作業、工業生産、鉄道輸送、被災地の生活に影響を与えた。¹⁾

海城地震は予知が成功した地震として有名である。本震は 2 月 4 日午後 7 時 36 分に発生したが、遼寧省革命委員会の防災指令(直前警報)は同日午前 10 時に出され、午後 2 時には防災対策が具体的に検討されていた。地震発生 5 時間半前には避難が完了していた。営口市営口県官屯人民公社の石礪峪地震大隊では、避難場所地震を教育する映画を上映中に地震が発生した。約 3,400 人のうち 3 名の死者が出たが、この 3 名は予報を信用せず、家に戻った人たちだったということである。海城地震の正確な死者数はわからないが、686 の大隊**のうち 493 の大隊では 1 人の死者もださなかったといわれている。³⁾

(2) 唐山地震

1976 年 7 月 28 日午前 3 時 42 分、河北省唐山市直下に M=7.8 の地震が発生した。震央は唐山市内の南部(路南區)にあり、震源の深さは 12~16 km であった。唐山市は石炭・製鉄・発電・製陶を主な産業とする河北省の重工業都市で、人口 107 万人、市総面積は 630 km² である。地震前の石炭の年産は 2,500 万 t、鉄鋼の年産は 150 万 t、年発電量は 23 億 kW であった。合計約 270 の企業に 21 万 8 千人の労働者が働いており、1975 年の工業総生産額は 22 億元(約 3000 億円)であった。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 回発生しており、特に主震発生当日の午後 6 時 46 分に発生した滦県地震(M=7.1)は、被害をさらに悪化させた。図 4 に唐山地震および滦県地震の震度分布を示す。⁴⁾ 唐山地震は 20 世紀に入って華北地区に発生した最大の地震となった。

唐山市にある数百棟のレンガ造りアパート建築は、主要な構造部材であるレンガ壁にせん断亀裂が生じ、95% の建物が倒壊するに至った。RC プレハブ工場建築は、屋根と柱の筋かいや構造部材間の結合が十分でなかったため、VIII~XI 度区で大量に破壊した。RC ラーメン建築の倒壊率は高くないが、柱の上下端部における水平亀裂、主鉄

表 3 海城地震による各震度区の住宅建築の被害率(%)

地域 (建物の総面積)	震度	再建を必要とするもの	大修理を必要とするもの	被害が軽微なもの	無被害なもの
海城県 (1.58 km ²)	IX	46	32	19.2	2.8
営口市 (3.62 km ²)	VIII	13	26	28	33
鞍山市 (11.89 km ²)	VII	5.5	12.8	25.2	56.5

* 以下、本報告では中国震度階をローマ数字、気象庁震度階をアラビア数字で示す。

** 公社の下行政単位。200 戸(約 1,000 人)前後で構成されている。

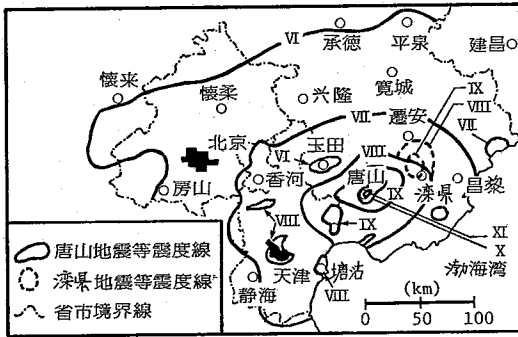


図 4 唐山地震、滦県地震の震度分布

筋の座屈が原因で、破壊したものが少なくなかった。唐山市内で破壊された建物面積は 14.13 km²、倒壊した住宅面積は 7.8 km² となった。このような建物の倒壊・破壊により死者 14.8 万人、重傷者 8.1 万人という大きな人的被害がもたらされた。また、この地震による唐山市の経済的損失は 30 億元 (約 4,200 億円) といわれている。被害は唐山市のみならず、天津市 (震度 IX~VII)、北京市 (震度 VII~V) にまで及び、唐山地震による死者および重傷者の総数は、先に述べた唐山市内のものを合わせてそれぞれ 24.2 万人および 16.4 万人に達した。⁵⁾

もちろん、唐山地震の被害は建築物にとどまらず、各種土木構造物、機械機器、都市供給施設等にも大きな被害を与えた。主震発生と同時に、発電所および変電所の建築物倒壊により電力供給が停止し、浄水場建築物、配水塔および地下埋設管網の破壊による断水が発生した。通信用建築物の倒壊に伴い設備機器が破壊され、通信網が完全に機能を停止した。また、建築物の密度が 70% に達する唐山市の路南区では、多数の人が道路上で瓦礫の下敷となってしまい、市内の南北を結ぶ交通が遮断された。⁶⁾

唐山地震の災害の多くは、建物等の損傷・倒壊によって惹起されたものと考えられる。この原因の 1 つは唐山市の過去の基本震度*が VI であって、構造物が耐震設計を必要とする震度レベル以下だったことである。海城、唐山地震の経験をもとに、国家基本建設委員会は従来の規準を改訂して「工業と民用建築抗震設計規範(TJ 11-78)」を発行している。これは、震度が VII~IX の地域に建設される各種建築物の耐震措置を示したもので、構造物の設計震度はその地域の基本震度に基づいて決定されることとなっている (表 4)。基本震度が VI 以下の地区では、特別な耐震措置をほどこす必要はないが、以下の 3 つの条件は考慮するものとしている。⁷⁾

- 1) 建築物は簡単な形状とし、重量と剛度が均等かつ対称に分布していること。

* 基本震度 (基本烈度) は、当該地域の一般の地盤条件で、将来 100 年間に発生が予想される最高震度階をさす。

表 4 設計震度

対象とする構造物	設計震度
国家の批准を受けた重要構造物	基本震度 +I
一般建築物	基本震度
倉庫や補助建築などの副次的建築物	(基本震度 - I)*

* 基本震度が VII のときはそのまま用いる。

- 2) 地震時に倒れたり脱け出しやすい装飾的な付属物を作らないこと。
- 3) 質の良い施工を保証すること。

II-2 地 盤

これまでの多くの被害地震の例に似て、海城、唐山両地震においても、振動現象による構造物の被害に加えて、地盤の変状に起因した橋梁、地下埋設管、建物等の被害が生じたことが報告されている。地盤の変状としては、地盤のすべり、不等沈下、液状化が挙げられる。特に液状化により、河岸のすべり、盛土のすべり・沈下・大きな不等沈下、水平地盤の曲折、支持力の極端な減少が生じ、地上および地下構造物に多大な被害を与えた。今回の調査から、特に液状化現象と、それが構造物に与える被害について中国の研究者、技術者が非常に注目していることがわかった。地盤の液状化現象そのものは古くから多くの地震で生じており、かなり以前から一部の研究者の間では液状化現象が認識されていたのであるが、人間生活に直接かかわりあうものとして一般の技術者に強く認識されてきたのはそう古いことではなく、日本では 1964 年の新潟地震における広範囲の液状化による被害が、その認識の直接的契機となった。今回の海城、唐山両地震の液状化による被害がちょうど、そのような契機になっているようであり、中国の研究者、技術者の間で液状化の予測・対策について検討が広く進められている。

海城地震では、II-4 の図 7 に示すように、震央付近ではなく、激震区の西部にある下遼河、双台子河周辺の沖積低地で地盤の液状化が広範囲に生じた。⁸⁾特に上記の河の間の盘锦の南部地区では噴水冒砂が激しく、地震後 2~3 分で噴水が開始し、場所によっては高さ 3~4 m にも達し、噴水時間は一般に 6~7 時間であり、長い所では 2~3 日も続いたという。⁹⁾場所によっては地下水が噴き上げるときにゴーゴーという音がしたという。地表面には無数の大小の噴砂丘ができた。その高さは一般に 10~30 cm であった。この液状化現象のため、農地 (砂をかぶったり、塩分が増加した)、排水灌漑施設 (水路の砂による閉塞、ポンプ室の傾斜・沈下)・油田 (やぐらの傾斜、井戸の湾曲)、道路 (盛土のすべり・沈下)、橋梁 (河岸のすべり出しによる基礎の変位・沈下)、建物 (水平変位、不等沈下)、水利施設 (堤防のすべり等) の各種の被害が生じた。また、著者らが営口市で聞いた話では、営口市の水道管の破損は著しく、特に下遼河の両側に破損箇所が

集中しており、地裂と噴砂した場所で折れた管が多かったという。これも、新潟地震における新潟市の地下埋設管の被害のパターンと似ていることから、地盤の液状化が主因となっている可能性が大きいものと思われる。著者らが瀋陽で聞いた話によると、このように地盤液状化による各種の被害があった中で、盤山(図7参照)にある化学工場の高さ60mの塔は、厚さ8mの砂層が液状化したにもかかわらず、被害はなかったそうである。これは長さ16mのくいが打ってあったためと説明されているが、今後の調査によって詳細な点も明らかになるであろう。

唐山地震でも、広範囲に液状化が生じた。この場合も震央の唐山市周辺よりも沖積低地が広がっている唐山市南方の海岸沿いの滦河河口の三角州地域で液状化が激しく生じた(図5参照)。哈爾濱(ハルビン)の工程力学研究所の劉恢先氏によると、唐山地震の総括的な報告書を現在準備中である由であり、印刷物による十分な資料を今回得ることができなかったため、以下の報告は直接著者が見聞した内容である。

唐山地震では、約3,000km²の範囲で激しい液状化が生じた。震度VII度以上の地区でどこでも生じた。⁹⁾ 写真13は北京市の中国建築科学研究院の王鍾琦氏に提供していただいたものであり、農地に大量の噴砂(写真中の白い筋)が見える。これらは、旧河道の跡である。唐山地震では全般的に旧河道での液状化が激しかった、といわれている。写真14は、このような噴砂の近接写真である。液状化による各種の被害例を以下に示す。

建物: 液状化による地盤のすべり(写真15参照)、支持力の減少による不等沈下が主な建物の被害の原因である。多くの一階建の農家も、写真16のように地盤液状化により傾斜、沈下、クラック等の被害を受けた。¹⁰⁾ 天津市は、川が多い町であり、旧河道、旧干潟の埋立地が、市街地、工場敷地となっている場所が多い。たとえば、現河道兩岸の旧河道上にある工場敷地では、噴砂丘が数多く出現し、その数が2,000以上に達したため、数えるのを止めたほど、激しい液状化が発生した。筆者らが訪問した天津第一機床廠(機械工場)も旧河道上に位置しており、建物の最大不等沈下は28.5cmで、基礎の水平移動の例も多かったという。地盤は深さ3~15mが細砂~シルトであり、これが液状化したのであろうといわれている。写真17は、被災した工場(天津市内)の建物内部の噴砂のようすである。このような液状化現象のため、旋盤などの精密機械が重大な被害を受けた。¹¹⁾ それは機械本体の破壊によるものではなく、土間、あるいは薄いコンクリートのたたきの上に直接設置した機械が沈下・傾斜し、機械(特に長い機械)の工作精度が著しく低下してしまったからである。建物自身は倒壊しなくても、このような被害のため、生産力は大幅に低

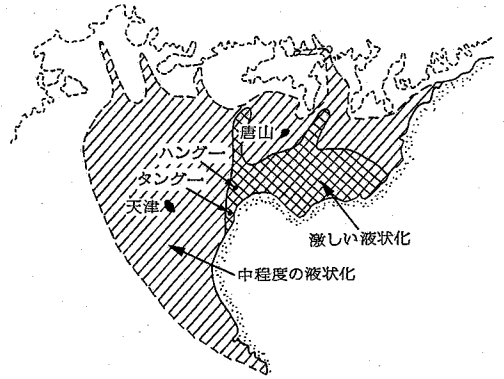


図5 唐山地震において液状化した地域⁹⁾
(文献9)の原図に加筆)

下した。上記の例のように建物の基礎地盤が激しく液状化したが、工場建物が振動破壊していない例が多いのは興味深い。唐山地震の死者、重傷者が異常に多いのは、レンガ造りの建物が一瞬の内に振動により破壊し、瓦礫の山と化したためであるといわれている。ところが、液状化が生じたためにかえって建物破壊が生じにくくなり、人命は救われたのではないと思われる例がいくつかあるようである。天津市で、著者らは旧河道上の埋立地に建てられたレンガ造4階建アパートの震害現場を訪問した。この地盤は深さ8~12mまで軟質であるとのことであった。写真9に示すように、左半分は地盤からの強制変位を受けて、構造的に破壊している。この建物には4つの主な縦クラックが入っており、地表面でのこのクラック幅の合計は約30cmであり、最大不等沈下は10数cmであった。このアパートの左側約100mの所に小川が流れており、地盤液状化により、地盤が小川の方へすべったものと思われる。このアパートの右半分には人々が居住していたが、このアパートの振動被害が甚大ではなかったことを示す証拠であろう。すなわち地盤が液状化すれば、地表面加速度はそれほど大きくはならず、また長周期成分が卓越してくるため、固有周期の短いレンガ造りの建物は大きく振動しなくなるのではなかろうか。このことは1階建の農家についても当てはまるものと思われる。写真18は、同様な現象を示したものである。地下槽が液状化のために浮上していて、レンガ積み建物には不等沈下による壁面のクラックが見えるが、倒壊はしていない。日本における液状化によるアパートの被害として、1964年新潟地震における川岸町アパートの例が有名である。この例では、建物は傾斜・沈下したが構造体に損傷は生じなかった。これは、RC建物であり基礎ばりの剛性が高かったためといわれている。しかし、レンガ造り建物は、不等沈下や地盤のすべりによる強制変位に対しても極めて弱いことが、今回の調査で判明した。

天津市は今回の震害による教訓から、今後の新しい建物に対して次のような設計方針を適用するようである。

- (1) 新しい建物については、十分な地盤調査を行う。
- (2) 旧河道・埋立地における大型工場の建設は禁止する。
- (3) 地下水位の高い軟弱地盤に大型工場を建設する場合には、必要に応じて地盤改良、杭基礎を用いる。
- (4) 新しい建物は国家の耐震設計基準にそって設計しなければならない。天津市においては基本震度（基本烈度）はⅦ度とする。
- (5) 建築の形式に注意し、軽い材料を用いる。
- (6) 良い施工を行う。このためには労働者の質を上げる必要がある。
- (7) 既設の発電所、オイルタンク、上下水道などのライフラインを補強する。

この耐震設計方針において地盤条件、基礎形式に深い注意を払っているのが注目される。

このほか、著者が直接目にした液状化による建造物の被害として、唐山市の震央近くの列車修理工場における砂サイロの沈下・傾斜がある（写真 19）。工場建屋自体は完全に倒壊しているの、このサイロの被害は全体としては主要なものではない。このサイロは直径 5~6 m、高さ約 16 m、250 t の砂の容量があり、杭基礎ではなく、一層の礫を敷きつめただけのベタ基礎ということである。ほぼ 1 m 近く沈下しており、写真に示すような傾斜が生じていた。このような被害は各地で生じたものと推定される。

盛土：地盤の液状化が原因と見られる地盤、盛土のすべりも各地で生じたようである。唐山市を流れる陡河の兩岸ではいたる所で河心方向にすべりが生じた。天津市東方の海岸と漢沽（ハングー）、塘沽（タングー）間にある道路盛土、鉄道盛土、河川堤防は、水平方向の波状変形、波状沈下が著しかったそうである。写真 20 で、手前が橋梁部分、その先が盛土部分であるが、盛土部分に著しい沈下が生じているのが見られる。通常、このように過大な沈下が生じるのは、地盤に液状化が生じている場合に多い。盛土が過大に沈下したとき、その両側の地表に噴砂が見られた例は多かったそうである。

橋梁：地盤の液状化による橋梁の被害については、「Ⅱ-4 橋梁」で詳しく述べられている。1964 年新潟地震、1964 年アラスカ地震等でみられた橋梁の被害と同様に、地盤が液状化し、兩岸部の河心方向へのすべりによる基礎の水平変位、傾斜、あるいは沈下による上部工の損傷、桁の落下という現象が、海城、唐山両地震においても多数発生したということである。筆者らが瀋陽市科学技術協会で行った遼寧省建設委員会の主催による技術座談会の折、液状化する地層が存在する場合の橋梁基礎の設計法について、

- (1) 液状化により地盤にすべりが生じたとき、橋梁基礎に作用する土圧の計算法、および

- (2) 現存の橋梁基礎の液状化による被害を防ぐための補強法は、どのようにしたらよいであろうか、という主旨の質問を受けた。日本においては、次のような考え方に基いて対策がとられている旨説明した。

- (1) 液状化が生じないようにすること、あるいは、液状化によってすべりが生じないようにすること、
- (2) 液状化が生じて沈下しないように基礎を十分に深くすること、
- (3) 液状化により地盤の水平方向の支持力が減少しても、水平変位が生じなくなるように基礎の水平方向に対する剛性を高めること。
- (4) 桁が落下しにくいようにすること、等である。

実際問題として、地盤に大きなすべりが生じた場合に橋梁基礎の変位を完全に防ぐのは困難であろう。したがって、落下しにくいように種々の工夫をすること、基礎が大きく変位して転倒したりしないように変位に対する抵抗性を持たせることが肝要であろう。

Ⅱ-3 ダム

唐山地震で 40 個のダムが被災した。これらのダムの内、密雲ダム（震央距離 140~150 km）および陡河ダム（震央距離約 20 km）の 2 つのダムについて震害状況、その解析結果が報告されている。他の個々のダムの位置、構造、規模、被害の状況の資料を入手していないため全般的な被害の分布はいまだわかっていないが、密雲ダムは震度 VI（MM 6 にほぼ対応している）の地域にあり、その近くのダムおよびその付属構造物には全く被害がみられないこと、このダムの下流法尻で記録した最大加速度が水平方向で 53 ガル、鉛直方向で 50 ガルであること（ただし、ダム基礎は厚い所で 40~44 m の砂礫層である）等の報告がある。今回の調査では、日程の関係から、被災したダムを視察することができなかったが、唐山市で調査した際に映写された地震記録映画により、名は確定できなかったがダムの地震直後の状況と軍による復旧工事を垣間見ることができた。ここでは上記の 2 つのダムの被害の一端を記すことにする。

陡河ダム（図 6）は、唐山市北部にある堤高 22 m、堤頂長 6,115 m の均一型ダムで、基礎は表面が 8~10 m の粘性土、その下に 10~12 m の細砂層があって岩盤に達している。貯水容量は 3 億 4,000 万 t であるが、地震時には水位は満水位より約 7 m 低く、貯水量は約 1 億 t であった。このダムは震度Ⅲの範囲に位置している。ダムの左岸岩着部から距離標 1+700 までの間で大きな被害が発生した。横断亀裂が 90 本以上発生し、ダムの上流および下流法面でもダムの高さの 2/3 程度の所に、ダム軸に沿って、幅が最大 1~1.5 m に達する大亀裂がそれぞれ 1 本および 2 本発生し、下流法尻から堤頂まで作られている道路に沿って亀裂・滑動が発生した。堤頂部と波返し部分の線は波のように曲がり、上下流法面の亀裂には

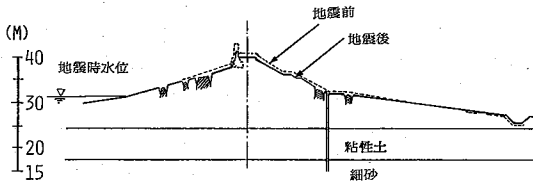


図 6 陡河貯水池ダム断面図¹²⁾

さまれた堤体中央部は沈下し、それより両側の下部ははらみ出し、一部分盛り上がりを見せた。上下流法面ではおおよそ貯水位の高さおよびそれより低い所で噴水が発生し、水圧計の記録では堤体内の水位が地震の前にくらべ4~5m上昇した。堤体および基礎のすべりに対する安全性と液状化に対する検討結果から、基礎の液状化が大きな原因ではないかとの指摘がなされている。

密雲ダムは、北京市の北々東約50kmにある高さ66m、堤頂長960mの傾斜心壁型のアースダムで1958年に着工し1960年から貯水を始めた貯水容量43億7500万tの多目的ダムである。傾斜心壁の上には、3~5mの厚みの岩塊、玉石、砂利、砂よりなる法面保護層がある。このダムサイトは広域的にみれば震度はVIであったが、この保護層が面積60,000m²で、土量150,000m³の大規模な滑動を起こした。滑動は貯水位付近から始まり、ブランケットの上端付近にまで及んでいる。滑動のはげしい部分では心壁が露出し1m近く削られていた。被害が軽度の滑動部分では保護層の表面がすべり出していた。この崩壊原因の究明のため解析が実施された。その結果、ダムの基礎となっている厚み40m余の堆積層と、上流法面保護層の材料の液状化特性が重要な原因であることが指摘されている。

■-4 橋 梁

海城地震、唐山地震はともに多くの橋に重大な被害を与えた。とくに唐山地震では、天津・瀋陽を結ぶ幹線道路上にある寧河蘆運河大橋、滦県滦河大橋が破壊し、交通が遮断されたため、人民解放軍等による救援作業が甚しく阻害された。¹³⁾ 写真21は蘆運河で落橋したRC鉄道橋である。海城地区・唐山地区はともに歴史的に強い地震が発生していなかったため、橋梁は耐震設計されていなかった。

図7に海城地震による主な橋梁の位置を示す。¹⁴⁾ 海城地震では、地下水位の高い粉細砂が厚く堆積した西部地区に被害が集中した。遼河、双合子河の下流地区は海退沖積地で、3,000km²にわたって発生した液状化現象(図7点線部分)が橋梁被害の主因となり、この地区にある38橋の鉄道橋のうち32橋、135橋の道路橋のうち63橋が被害を受けた。¹⁴⁾

唐山地震では唐山地区の道路橋総延長の62%、¹⁶⁾ 鉄道橋の40%(総延長か個数か不明)¹⁵⁾ に何らかの被害が発

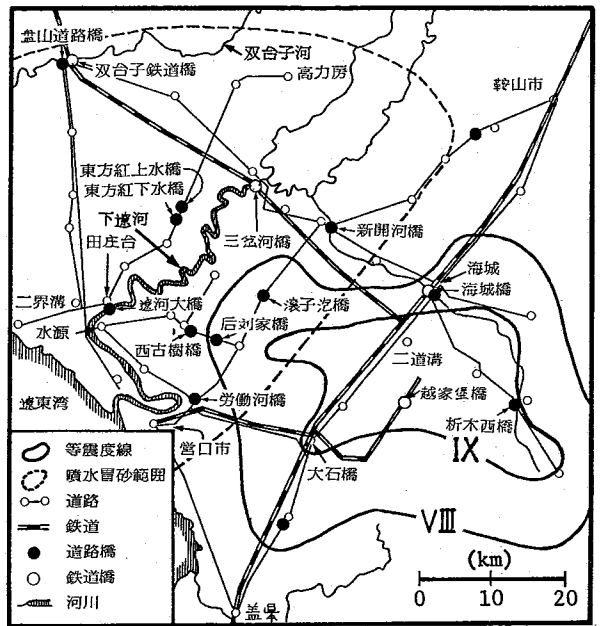


図 7 海城市周辺の主な橋梁の位置。

図中のほとんどの橋は被害を受けたが、海城橋(RC道路橋)は被害がなかった。

生した。道路橋131橋の震害調査によれば、¹³⁾ 落橋したもの18、大被害16、中被害42、残り55橋は小被害であった。ここにいう大被害とは修復不能の被害を受けたもの、中被害とは構造部材にかなりの被害を受けたが修復可能なもの、小被害とは二次部材が被害を受けたか、または無被害のものを指す。図8に唐山地震の震度階IX以上の区域にある主な被害橋の位置を示す。この区域の中心を流れる陡河流域には、地表以下の細砂が厚く堆積していたため噴水冒砂現象があちこちにみられた。¹⁷⁾ 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。¹⁸⁾

次に、典型的な被害例に注目し、両地震による橋梁被害の特徴について述べる。

唐山地震で落橋した勝利橋は5スパンRC単純支持T桁(5×11m)の道路橋である(写真6)。橋脚は直径1mの杭3本からなる高さ6.5mのバイルベント型式で約18mの根入れを有しており、橋台は高さ8mの重力式U型石積み構造である。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、その下層は細砂および中砂よりなる。河床では地表から10mの深さまで砂層である。地震後の調査によれば、地表から12~14m、橋台の底部から4~6m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出したため(図9参照)、唐山市側の橋台が1.15m、反対側の橋台が2.45mそれぞれ河心方向へ移動し、同時に沈下、傾斜した。両岸とも橋台の後方10~15mの範囲

地域の特性や日常生活の質などにより異なり、単純な比較は難しいが、今後の共同研究を通じてさらに明らかにしていきたい。

ここでは震害資料も比較的整理されている水道施設に注目し、主として埋設管被害の実態と最近導入されたその耐震計算の方法について述べる。

遼寧省営口市は遼東半島の西側の付け根に位置する人口約 30 万人の軽工業都市である。海城地震による震度は中国震度階で VII~VIII、日本気象庁震度階では 5 の低い方あたりに対応しているが、全体に地盤の悪い地域に属していたことが原因し、各種構造物に大きな被害が発生した。²¹⁾ 営口市の上水道は給水人口約 26 万に対し、地震当時の給水量は 1 日約 6 万トンで、1 人当たりの給水量は約 230 l であった。水源は 2 カ所で、いずれも深さ約 40 m の深井戸から取水していたが、その 1 つの被害が特に大きく、建屋の損壊、機器の倒壊等が発生した。変電所の機器被害による全市的な停電は約 6 時間続いた模様である。営口市内にある直径 100 mm 以上の埋設管 158.5 km に対し 372 カ所の破壊が発生したと報告されており、被害率は 2.35 カ所/km であった。1978 年宮城県沖地震による宮城県下 29 水道事業体の被害が、埋設管延長約 4500 km に対して約 1500 カ所、被害率にして 0.33 カ所/km であったことにくらべ、営口市水道管の被害は非常に大きかったことになる。*被害箇所の分布の詳細は不明であるが、川の両岸で地割れ、噴砂現象の見られるところに被害が集中したということで、液状化を含む地盤条件が大きく影響したものと思われる。管種別には石綿セメント管、铸铁管の被害率が高い。铸铁管も品質的に問題があるものが多いということであり、石綿セメント管とともに管体材料としての性能が十分でなかったことに加え、いずれの場合も継手の変形吸収能力が極めて低かったことが原因として指摘されている。たとえば、铸铁管の継手としては、セメント・モルタルを充填した印ろう型継手が広く用いられているが、この種のは軸方向の相対変化 0.06 mm、回転角 0°08'~0°19' 程度でゆるみや抜け出しが容易に発生することが実験結果から得られている。²²⁾ 以上のような被害のため、営口市では約 3 日間にわたり全市的に断水した。

唐山地震による埋設管の被害はさらに広範に亘った。表 5 は唐山地震の影響が大きかった 4 都市における水道铸铁管の被害をまとめたものである。唐山市内では、総延長約 110 km に対して 444 カ所の破壊が発生し**被害率は 4.0 カ所/km であった。この表から、震央距離 50~70 km の漢沽および塘沽の両地域では、震度階が唐山

表 5 唐山地震による水道埋設铸铁管の被害率

地域	震央距離 (km)	中国震度階	地盤種別*	被害率 (個所/km)
唐山	5~6 以下	X~XI	2	4.0
漢沽	50	IX	3**	10.0
塘沽	70	VIII	3**	4.18
天津	90	VII~VIII	3**	0.18

*地盤種別 1: 安定な岩盤, 2: 1 と 3 をのぞく安定な地盤, 3: 各種の軟弱地盤

**同じ 3 種地盤でも、天津、塘沽、漢沽の順に地盤は悪くなっている。漢沽が最も悪い地盤条件である。

市にくらべて小さいにもかかわらず、唐山市と同程度以上の被害率となっていることが注目される。すなわち、中国震度階で II 程度 (気象庁震度階で 1 程度) の差の地震動の強さよりも、当該地域の地盤の良否の方が埋設管の被害に大きな影響を及ぼしたことを示している。また、管体材料および継手型式による被害率の差は著しく、材質的には鋼管や PC 管は一般に良好な耐震性能を示したのに対し、石綿セメント管、塩化ビニル管、铸铁管 (前述のように現在中国で使われているものには品質的に問題があるといわれている) では被害率が高い値を示した。同じ管体を用いた管路であっても、継手が変位吸収能力を有しているものの被害は少なく、カラーの内側にセメント・モルタルを充填した剛接合の石綿セメント管が高い被害率を示したのに対し、ゴムリングを有するカラー継手の石綿セメント管の中にはほとんど被害を受けなかった事例もあった。

海城地震の営口市、唐山地震の唐山市、天津市のいずれの被害からも、埋設管の被害率が管の直径の増大とともに減少する傾向が一樣に認められている。

唐山地震の発生は 7 月 28 日早朝であったが、地震から 2~3 日の間はまったく給水がなされず、井戸、川、プールなどの水を飲用とせざるを得なかった。トラックによる給水は震災 3 日目から開始されたが、水不足とともに建物倒壊による交通障害が水供給に対する大問題となった。特に人口が密集していた鉄道の南側 (路南地区) ではゴムパイプによる応急仮給水が計画され、地震後 1 週間程度で完成した模様である。全市的に給水 (これは最小限の仮給水と思われる) が再開されたのは 8 月 10 日と報告されているが、基本的に復旧が完了したのは 9 月下旬であった。また天津市ではこれより約 1 カ月早く 8 月終わりには基本的復旧を完了している。²²⁾

海城および唐山地震の高価な経験をもとに、1979 年 8 月から「室外給水配水と煤気熱力工程抗震設計規範 (TJ 32-78)」が試行されている。この規範には池状構造物、タ

*営口市と宮城県下では、震度階の対応による限りほぼ同程度の地震動強さと考えられ、宮城県下の埋設管被害には直径 100 mm 未満の管の被害も含まれている。

**このうち、258 カ所が継手抜け、95 カ所が継手破損の被害であり、残りの 91 カ所が管体破損によるものであった。

ンク、取水構造物等の耐震計算法と耐震性を高めるための配慮が示されている。特に地下埋設管路については、直線部分（軸方向変形または応力）の耐震計算法を具体的に与えているので、これを紹介する。

地震時に継手の伸縮性に期待する管路に対しては

$$66\zeta k_h T_m^2 < \sum_{i=1}^n [u]_i;$$

継手または管体の強度に期待する管路に対しては

$$94E\zeta k_h T_m / V_s < [R]_i$$

を用いて耐震性を検討する。上式において、 ζ は周辺地盤から管体への変形（または応力）の伝達係数で

$$\zeta = \frac{1}{1 + \frac{EAD}{2V_s^2}}$$

で定義される。上式で、 T_m =地盤の卓越周期(s)、 E =管体材料のヤング率 (kg/cm^2)、 A =管の断面積 (cm^2)、 D =管の平均直径 (cm)、 V_s =地盤内のせん断波伝播速度 (cm/s)、 $[u]_i$ =継手1つ当たりの軸方向の許容引張変形 (cm)、 n =半波長内にある継手の数= $V_s T_m / \sqrt{2}l$ 、 l =管1本の長さ (cm)、 $[R]_i$ =管体または継手の軸方向引張りまたは圧縮設計強度 (kg/cm^2)である。計算式は管軸に45°の傾きで入射するせん断変形の波動を対象に求められたもので、水平方向の設計震度 k_h は、中国震度階VII度区で0.1、VIII度区で0.2、IX度区で0.4とされている。

たとえば、 $T_m=0.5s$ 、 $E=1.1 \times 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、 $A=24.04 \text{ cm}^2$ 、 $D=15.94 \text{ cm}$ 、 $V_s=140 \text{ m/s}$ (この値は実測によるせん断波速度の2/3をとる)、 $l=5 \text{ m}$ とすれば

$$\zeta=0.4816, n=10$$

となるから、IX度区の場合

$$[u]_i > 1.59 \text{ mm} \quad \text{または} \quad [R]_i > 711 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

により耐震性が照査される。

上記の計算法の根拠は文献(24)、(25)等に断片的に記述されているが、理論的または経験的背景が必ずしも明らかでない部分がある。海城、唐山両地震以前の中国では、地下埋設管の耐震性はほとんど考えられていなかったのが実状のようであり、これらの計算法を定着させることによって、管路の耐震性能を一定以上のレベルに引き上げることが計っているものと思われる。

Ⅲ. 中国における耐震研究の動向

調査旅行中、私達はハルビン市、大連市、北京市にある研究機関および大学を訪問する機会を得た。各研究機関では研究室の設備・活動状況や両地震による被害状況について説明があり、私達の質問にはどんなことにもていねいに答えてくれた。地震工学の最近の研究成果を中心とした座談会では、活発な意見の交換があり、中国側研究者の新しい情報に対する意欲が強く感じられた。

短期間に各地を歴訪したために、今回の訪問では個々

の研究機関と大学について概略を把握することにとどまった。ここでは、各研究機関の構成の概略および私達が受けた印象について述べることにする。

Ⅲ-1 工程力学研究所

ハルビン(黒龍江省)にある当研究所(写真25)は1952年に設立準備を開始し、1954年に「中国科学院土木研究所」という名前で発足した。現在の劉恢先所長は設立以来所長の要職をつとめていられるとのことであった。以下は主に劉所長の説明によるものである。設立初期は建築、土質工学、構造力学、建築設計の4つの部門から成り立っていた。その当時は土木関係の研究所は少なかったが、その後、土木関係の研究所が数多く設立されるに至ったので、建築・建築設計の部門を他所に独立させ、1962年に現在の工程力学研究所と改称し、1. 応用力学、2. 構造物の耐震工学、3. 土質力学、4. コンクリート工学、5. 振動・衝撃工学の各部門を持つ構成となった。約10年間にわたる文化大革命の当時、大部分の研究は停止させられた中で、耐震工学の研究だけは行われていた。これは、1960年代・1970年代にいくつかの被害地震が中国で発生したためである。したがって現在は、耐震工学が重点的に研究されている。

私達がこの研究所を訪問して受けた印象の中で、特に際立ったものの1つは、研究スタッフの平均年齢が極めて高いということである。同様な印象は、後に紹介する北京の建築科学研究院でも受けた。若い研究者、技術者の養成が、現在の中国にとって重要かつ緊急な課題であるように感じられた。

研究所は現在以下の研究室から成り立っている。

1. 強震観測：強震計の自主的開発、強震計の設置、強震記録の解析
2. 耐震工学：構造物の振動解析・耐震性の解析。
3. 建築物の耐震：レンガ、コンクリート構造等。中でも中高層レンガ造建築の耐震性は重要な問題であり、私達は模型実験を実施している研究室を見学した。
4. 建築物以外の構造物(ダム、橋等)の耐震。
5. 地震以外の衝撃・振動工学。
6. 岩石力学：3年前から開始し、高圧下での力学的性質を主に研究している。これは地震発生メカニズムの研究に関連がある。
7. 土質動力学：液状化、アースダムの耐震性、軟弱地盤の研究。
8. その他：コンピュータ・振動計器の開発、図書館、試作工場。

スタッフは全体で550名、60名が研究スタッフである。図書室がよく整備されているのが印象的であった。海外の情報の収集、それも迅速に収集しており、日本の土木、建築、土質の各学会の雑誌、論文集、アメリカ土木学会(ASCE)論文集などの最新の複製版(コピー)が、

きちんと整理され閲覧に供せられていた。「最近の情報過多の折、論文を読むだけでも大変でしょう」とある研究員に尋ねたところ、「そのとおり、1日の大半は論文を読むことで終わってしまう」とのことであった。また、最新の外国の耐震工学の研究論文を中国語訳した専門雑誌を定期的に発行していることから、海外の最新の情報をとにかく早く吸収しようと努力しているようすが窺えた。

工程力学研究所の定期刊行物としては、中国科学院工程力学研究所研究報告がある。

■-2 大連工学院

岡本・田村は8月2日から2週間にわたり大連工学院院长の屈伯川博士に招かれ、同学院で耐震工学の講演と視察を行った。韓もこれに同行した。8月16日には久保・片山・龍岡等5人も同学院を訪問、関連研究室を視察した。

大連工学院は、大連市の郊外にあり、三方を山に囲まれ、南方だけが海に向かった閑静な所にある(写真26)。同学院は1949年春に創立し、現在中国教育部(日本の文部省に相当する)の直属重点大学になっている。ここには、化学工程系、機械工程系、水利工程系、電子工程系、造船工程系、応用力学系、応用物理系、応用数学系と管理工程系の9つの系と基礎部(教養部に相当する)が設置されているほか、応用力学、海洋工程および水利水電工程の3つの研究所がある。現在大学生は約7,000人、研究生(大学院生に相当する)は約200人、博士課程の研究生は今年から募集されるといわれている(中国は今年初めて修士終了者を出し、博士課程の研究生を募集)。職員は約3,500人(教授、副教授、講師、助教が約1,500人)である。

国際交流としては、国の依頼を受け、中米共同で行われている「中国工業科学技術管理講習センター」がある。ここでは、毎年2~3カ月くらいにわたって講習会が行われている。今までに、向坊元東京大学総長をはじめ14人の日本人学者が大連工学院を訪問した。土木関係者としては、私達が最初である。米国、ヨーロッパとも学者の交流がある。また、1979年から同学院の11名の教官が日本に派遣され、学習と研究にあたっている(滞在期は2年)。

今回の講演の主な内容は、耐震工学の現状(岡本)、地震時地盤の動特性(田村)、地下構造物の耐震(田村)、ダムの耐震(岡本)、橋梁の耐震(田村)である。講演に参加したのは、大連工学院の水利工程系と応用力学系の教官および上海、広州、西安、北京、瀋陽、長春などの都市から集まった40名余りの人々だった。参加者の内で、大部分は大学の教官、研究所の研究员と設計院の技師であった。聴講者は極めて熱心で、耐震構造に対する意欲と熱意の強さが感じられた。また、講演後に行われた討議の中でいくつかの鋭い質問があり、聴講者の勉強の

一端を窺うことができた。

講演の合間に、水利工程系および応用力学系に属している実験室を見学し、関係の教官、研究者と3回に亘って座談会を開き、耐震研究、実験室の建設、大学院生の教育などについて意見を交換した。とくに、博士課程の大学院生をどのように教育するかについて大きな関心を持っているようだった。見学した実験室は、水利系の耐震実験室(写真27)、同海洋動的基礎実験室、同土質実験室および応用力学系の振動実験室などであった。

中国の水力資源としての電力は約6.8億kW、開発可能な電力は3.7億kWと見積られているが、現在はその5%程度しか開発しておらず、今後ダムの建設が盛んになるだろうと思われる。ダム建設地点の大部分は中国の西南部と西北部であり、これらの地域は地震が多いため中国のいくつかの研究所と大学で、ダムの耐震性に関する研究が行われている。同学院ではアーチダム、重力式ダムおよび海洋構造物などの耐震性の研究は古くから耐震実験をとうして行われており、今後、アースダムとコンクリートダム接触部分の耐震性についても研究を進める予定と聞いている。水利系の耐震実験室には、主な設備として大きさ1.6×2.4m電磁式1.5tの振動台が設置され、実験が盛んに行われていた。

最近、中国で発生した海城地震と唐山地震で、地盤の液状化による被害が大きかったため、いくつかの部門で地盤の液状化について研究が行われている。同学院の土質実験室では海洋構造物と水工構造物地盤の動特性(粘土の動特性と砂の液状化等)について、主に実験的研究を行っている。主な設備としては、動的三軸試験機と単純剪断実験設備などがある。

応用力学振動実験室では、レンガ造りの耐震壁について、実験を行っていた。実際のレンガで実物大のモデル壁を積み上げ、壁の両端にRC柱を造り、壁面内荷重を加えて、破壊実験を行っていた。現在の中国では、都市建物の主な材料としてレンガを使用しなければならない状態にあるため、レンガ造り建物の耐震性の研究は重要なテーマである。

そのほか、水利系では、水流によって起こるゲートの振動、水力発電所水車の基礎、発電機と水車連結の軸の運転による振動についても、研究が行われている。

海洋動的基礎実験室では、主に波浪と構造物の相互作用についての研究がなされ、大連新港建設(10万t級の石油埠頭)に必要なすべての水理実験はここで行われた。

■-3 建築科学研究院

中国科学院に所属するこの研究院は、日本で言えば建設省建築研究所と土木研究所の一部を合わせたような研究機関であり、中国ではおそらく耐震研究の実験設備の一番整っている所であろう。工程力学研究所はやや基礎研究に重点を置いているが、この研究所は、より実際の

な事項の研究に重点を置いており、行政に近い関係にあるとの印象を受けた。科学技術部は、建築構造、耐震構造、基礎工学、地質、コンクリート工学、空調、音響、建築機械化、建築歴史などの研究室から成る専門研究部、主に建築設計の研究を行う総合研究部、電子計算室・試作工場、学術論文を収集、発行する室から成るサービス部の合計 3 部で構成されていて、私たちは主に専門研究部を訪問した。

当該研究院の研究スタッフも、平均的に高令であるが、一方で、日本等に留学した経験のある 30 歳代の若い研究者にも会うことができた。日本から数年前に購入したという油圧アクチュエーターを数本用いて、14階建の RC 建築物の模型を実際の地震時応答変位が生ずるように、数カ所で横から強制変位を与えるという耐震性能試験は、その中で最も目を引くものであった(写真 29)。そのほか、これも日本から最近購入したという振動三軸試験機、小型砂層模型を小型振動台に載せて液状化試験を行う装置等の最新設備が稼動していた。また、水平、上下の二次元大型振動台を設置する建屋も案内されたが、ちょうど基礎が出来上がった段階であった。定期出版物としては「建築科学研究報告」がある。

このような近代的設備を活用した研究は現在精力的に実施中であり、また、実施しようとしており、その研究成果は、極めて近い将来実を結んでくるものと思われる。

IV. あとがき

海城、唐山両地震の震害の調査研究を主目的として、8月1日より8月25日までおよそ4週間、ハルビンから北京まで中国東北部、華北部の各地を訪問した。韓を別に、調査団のメンバーには初めての訪問地であって、このための準備としては韓の情報と、旅行社その他からの僅かな情報があるに過ぎなかった。

狭小な国土に住み、交通機関の発達している環境に生活している私達にとって、広大でしかも交通手段の少ない中国では、移動だけで大変長い時間が必要であることは新しい認識であった。短い時間になるべく多くを視察したいという調査団の初期の願望は、中国側の理解を得て、国家基本建設委員会を中心とした巨大な組織の協力と配慮によりほとんど果たすことができた。各地で盛んな歓迎を受けたのはもちろん、入院加療中にもかかわらず調査団の行動に参加し、見学の便と調査を確実にするためにわざわざ遠地より駆けつけられた要人、多忙にもかかわらず数日間にわたり案内を担当された方々等枚挙にいとまがないが、特に国家基本建設委員会抗震弁公室の陳 寿梁氏には大変にお世話になった。なお、陳氏は本所を二度訪問したことがある。

工学研究の視点から、調査団は卒直に見学・視察の希望を申し出たが、本邦と体制の異なる中国で、これをか

なえることは容易ではなかったようである。まず、唐山市は公開された都市ではなかった。公開されない被害も多いのである。しかし今回の調査にあたって、初めての写真撮影、見学が許されるなど多くの便宜が与えられた。国家基本建設委員会を表敬訪問した際、抗震弁公室責任人の程 震文氏は、「もっと早く震害地を視察したかった」という私達の希望に対し、「次からはもっと早く見ることができるだろう」と答えてくれたが、調査団の立場と考え方が理解されたものと思っている。

大連工学院での2週間にわたる講演と研究施設の見学と同院研究者の建設分野における研究発表、討議、ハルビン工程力学研究所における講演、同所の研究者による研究発表、中国建築科学研究院の耐震関係研究施設の見学と同院の研究者による研究発表、北京動物園内で行われた北京市の耐震関係研究者の研究発表、瀋陽市、北京市における講演等、研究者・技術者との活発な意見の交換が行われたが、ときには日本語による発表もあり、終始暖かい、なごやかな雰囲気の中に進められたのは、工学研究者としての相互の理解のほかに、漢字を共有するという古い文化のつながりがあったように感じられたのは筆者のみではない。交換の際、地震の写真集を恵贈されたが、地震後5年を経過した現在、研究上何物にも替え難い貴重な資料である。

唐山地震は鉅工業都市唐山市を灰燼に帰す未曾有の大災害を発生させたのであるが、1923年、関東地方南部と首都に大被害を与えた関東地震のときの状況に類似点が多いようである。構造物の耐震設計はほとんどなされて、いない一方で、中高層の建物や大規模な工場施設等が建設され、社会施設資本の充実が進んでいたわけである。中国ではこれを機会に、地震災害の防止を重要課題として採り上げることになり、耐震工学研究が急がれている。この点で多くの実績と長い経験をもつ本邦の耐震工学の研究者は協力しなければならないし、これにより私達も研究上多くのものを得ることになろう。実施に当たっては、国の体制や組織上の相違を念頭において、これに対処していくことが大切であろう。

次に訪問地または訪問機関と今回の調査で協力をうけた関係機関を再録して、改めて感謝の意したい。

中国科学院工程力学研究所 (ハルビン市)

遼寧省基本建設委員会

鞍山市基本建設委員会

営口市

海城県

大連工学院 (大連市)

瀋陽市

河北省基本建設委員会

唐山市

天津市基本建設委員会

中国建筑科学研究院(北京市)
中国国家基本建設委員会(北京市)
北京市

この調査を行うにあたり、駐日中国大使館の科学技術
処、教育処の諸官が種々の助言と便宜を与えてくれた。

実施にあたり本所事務部は、困難でしかもはん雑な手
続きを短期間で進めてくれた。

最後に、この調査の機会を与えられた財団法人鹿島学
術振興財団の名を記して感謝の意を表します。

(1981年10月27日受理)

引用文献

- 1) 中国科学院工程力学研究所編:「海城地震震害」,地震出版社,1979.
- 2) 地震工程概論編写組編著:「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) 陳非比,張建華,劉乘良,商宏寬編:「唐山地震」,地震出版社,1979.
- 5) 静岡県:「唐山地震調査報告」,1981.
- 6) 叶耀先,劉錫蒼著:「唐山地震の工程経験と城市地震防災」,1979.
- 7) 国家基本建設委員会編:「工業与民用建築抗震設計規範(TJ11-78)」,中国建筑工業出版社,1979.
- 8) 文献1)に同じ.
- 9) The Committee on Scholarly Communication with the People's Republic of China (CSCPRC): "Earthquake Engineering and Hazards Reduction in China", CSCPRC Report No. 8, National Academy of Science, 1980.

- 10) Wang Zhong-qi: "Macroscopic Approach to Soil Liquefaction," Proc. Int. Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, 1981.
- 11) 一機部抗震弁公室,「機械工業設備震害初集」,1981.
- 12) 劉顯他著:「陡河水庫土坝砂基液化」,中国科学院工程力学研究所研究報告(78-020),1978.
- 13) 交通部公路規劃設計院抗震組編著:「唐山-豊南地震公路橋梁震害簡介」,1980.
- 14) 文献1)に同じ.
- 15) Ye Yaoxian: "Damage to Lifeline Systems and Other Urban Vital Facilities from the Tangshan, China Earthquake of July 28, 1976".
- 16) 陳寿梁,周炳章,裘民川編:「唐山地震房屋震害和城市地震防災」,1980.
- 17) 何度心,高金英著:「地震時橋台の滑坡問題」,中国科学院工程力学研究所報告,1978.
- 18) 徐風雲著:「唐山地震高烈度区橋梁震害簡介」,1980.
- 19) 唐寰澄編著:「橋」,中国鉄道出版社,1981.
- 20) (財)日中経済協会編:「日本橋梁振動技術訪中団報告書」,1981.
- 21) 文献1)に同じ.
- 22) 文献15)に同じ.
- 23) Sun Shaoping: "Earthquake Damage to Pipelines", ASME 80-C2/PVP-156.
- 24) Shen Shi Jie: "Earthquake Resistant Design of Underground Pipelines".
- 25) 北京市市政工程研究所管道抗震研究小組:「直徑150毫米鑄鉄管楔形胶圈抗震接合抗震性能の試験研究」