

特別講演 I

新潟県中越地震とコンクリート構造物の耐震性

Seismic Performance of Concrete Structures under Niigataken-Chuetsu Earthquake

長岡技術科学大学 理事・副学長 丸山 久一

1. はじめに

平成 16 年 10 月 23 日 (土) 17:56 にマグニチュード 6.8 の地震が新潟県中越地方を襲った。震源地の川口町では震度 7、長岡市でも震度 6 の揺れを記録し、住宅、電気・ガス・水道等のライフラインの他、河川、道路、鉄道、ダム等、広範囲に被害をもたらした。ほぼ 10 年前 (平成 7 年 1 月 17 日) の兵庫県南部地震が阪神地区という人口密集地で発生したのに比べて、今回の地震は中山間地に発生したことから、震度の大きさは同じように大きかったものの、人的被害は少なかった。とは言っても、家屋の倒壊、斜面の崩壊により 30 名弱の方々が亡くなり、その後、復旧における過労・心労 (エコノミッククラス症候群) により亡くなった方が 10 数名にのぼり、最終的には 40 名を超える死者を出した。

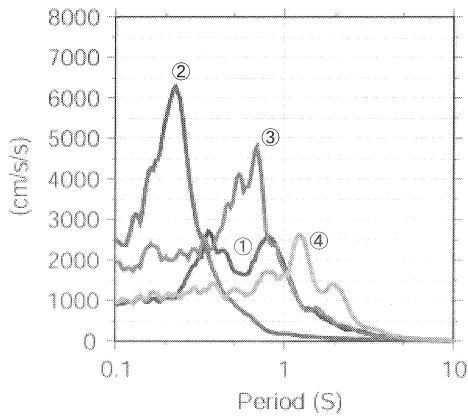
地震の影響は、同じ長岡市内でも地層のあり様で大きく異なっていた。地震の断層に連なる東山丘陵に近い位置にある長岡工業高等専門学校は、盛土部分が大きくずれて建物に甚大な被害を生じた。一方、信濃川をはさんで、長岡工業高等専門学校と反対の西山丘陵に位置している長岡技術科学大学では、多少の地割れが生じたものの、建物にはほとんど被害がなかった。

地震直後から関係者は調査活動に入り始めていたが、土木学会コンクリート委員会も睦好宏史埼玉大学教授を団長として調査団を結成し、10 月 27 日には現地調査を開始した。さらに、土木学会としての第二次調査団においては、コンクリート構造物関係は前川宏一東京大学教授を団長として調査活動を行った。調査内容は、土木学会コンクリート委員会のホームページ、土木学会誌、コンクリート工学等に掲載されている[1~3]。本論文の内容は、それらの調査報告の他、筆者が係った各種復旧・復興委員会 (国土交通省、日本道路公団、JR 東日本) での検討内容を踏まえてまとめたものである[4~6]。

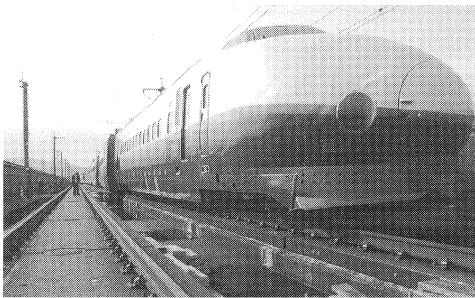
2. 新潟県中越地震の特徴

2. 1 地震の特徴

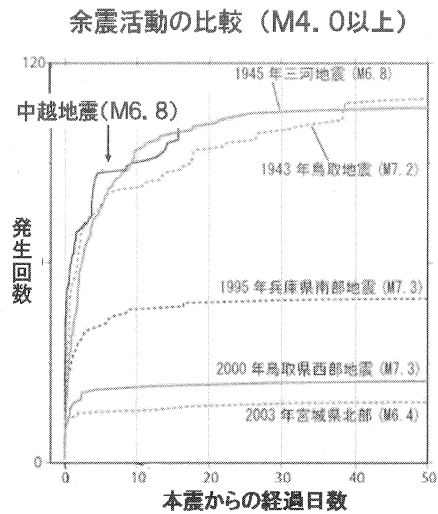
新潟県中越地震の特徴は、兵庫県南部地震と比較して、スペクトル的には短周期の成分が卓越した強い振動で、しかも、余震が長く続いたことである (図 1)。長岡市内でも、地震発生から 1 時間の間に、震度 5~6 とされる強い揺れが 4 回あった。地震発生後 2 日間は大小さまざまな余震が続いていたが、3 日目には多少揺れが収まった。しかし、4 日目の 27 日には再び大きな揺れに襲われ、上越新幹線の脱線現場での作業で危うく二次災害が発生するところであった。余震はその後も続いていて、2 ヶ月以上経った平成 17 年 1 月にも震度 4 を記録し、余震の回数は 900 回を超えた。



図ー１ 加速度応答スペクトル



写真ー１ 上越新幹線の脱線現場



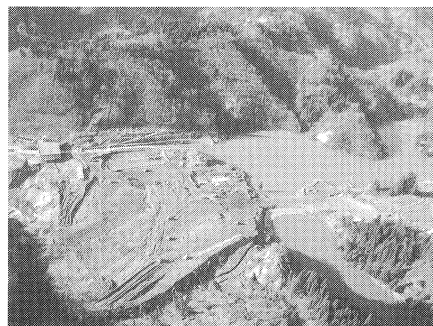
図ー２ 余震の発生回数

2. 2 被害の特徴

地震が中山間地で発生したこと、また、新潟県は地滑り地帯が広く分布していることなどから、地盤崩壊、斜面崩壊が大規模に生じ、それに関連する大規模な被害が発生した。長岡市と小千谷市の境にある妙見地区で大規模な斜面崩壊が生じ、乗用車が巻き込まれた (写真2)。また、山古志村では、土砂による河道閉塞で、部落が水没した (写真3)。



写真ー２ 妙見の崖崩れ



写真ー３ 山古志村の河道閉塞

また、蓬平では、高台にあった民家2軒が崖崩れのため倒壊した(写真4)。1軒は滑り落ちて土砂の下になった。道路、宅地においては、盛土部分が崩れ落ちた。小千谷市天納では、国道と上越線が平行している箇所地滑りが生じ、国道の半分がそぎ落とされ、鉄道の線路は路床部がなくなっていた(写真5)。



写真-4 蓬平での崖崩れ

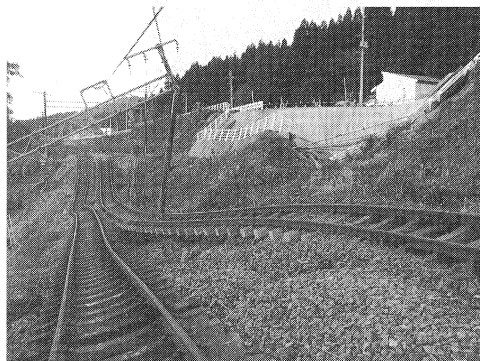


写真-5 地滑り被害(上越線)

コンクリート構造物の被害の詳細については次節で述べるが、道路構造物については、地盤の大きな変形により、地盤に接している橋台が大きく破損した錦鯉橋(国道291号線)が目立ったが、地震で被災した地域にある道路橋構造物全体としては、支承部の破壊や、パラペット部の破壊などの局部的破壊は見られたものの、上部工の落橋や橋脚の崩壊などの大きな被害はなかった。

鉄道構造物では、ラーメン高架橋に曲げ破壊、せん断破壊などが見られたが、被害が全く見られない鋼板補強済の柱部材もあった。魚沼トンネルのコンクリートライニングが圧縮破壊しているのは、筆者にとって始めて見るものであった。

住宅の被害は、木造建築で倒壊した家屋もあったが(写真6)、震度が大きい割には被害が少なかった。想定される理由としては、梁、柱が太く、壁率の大きい耐雪構造になっていることが、結果として耐震構造になっていること、および、積雪を考慮した高床式のRC基礎が耐震上有利となっていたことである。地盤の崩壊等で大きな被害を受けた長岡工業高等専門学校でも、RC建物そのものは、大きな破壊や崩壊を生じていなかった(写真7)。

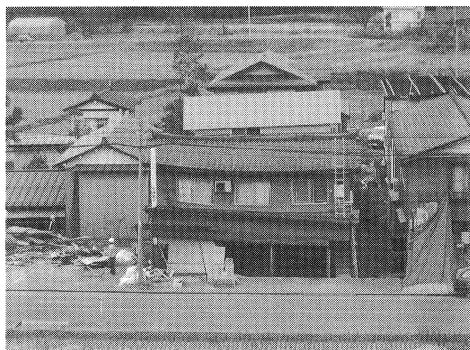


写真-6 木造家屋の被災



写真-7 地盤の流動

3. コンクリート構造物の被災状況

道路橋に関しては、前項でも概略述べたように、大きな被害は認められなかった。小千谷大橋の橋脚で、横桁との境部に認められた曲げによる損傷（写真8）とか、芋川橋での掛け違い部に生じたひび割れ（写真9）、その他鋼製支承部の損傷といった局部的な破壊がほとんどであった。



写真-8 橋脚の損傷（小千谷大橋）

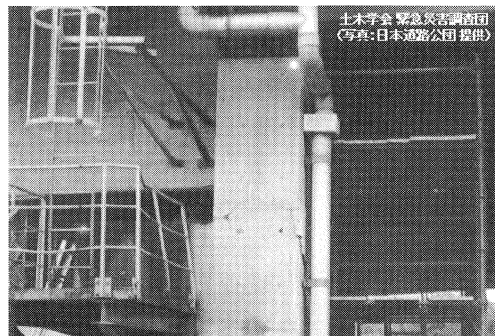


写真-9 橋脚の損傷（芋川橋）

一方、鉄道構造物では、高架橋に曲げ損傷（写真10）やせん断破壊（写真11,12）が見られた。せん断破壊した部材について JR の関係者に伺ったところ、耐震診断した際には補強不要となるせん断スパン比（せん断耐力／曲げ耐力）であったものが、周囲の盛土などの2次的影響で、結果としてせん断スパンが小さくなり、せん断耐力／曲げ耐力比も小さくなったとのことである。これとは別に、新幹線の脱線現場に近い高架橋では、鋼板巻きによる耐震補強がなされていた（写真13）。この橋脚には、全く被害が生じていなかった。



写真-10 橋脚の曲げ破壊



写真-11 橋脚のせん断破壊



写真-12 橋脚のせん断破壊



写真-13 補強した無被害の橋脚

魚沼橋梁の橋脚は、軸方向鉄筋の段落し部で曲げ損傷が生じていた (写真 14)。断面が大きかったせいか、フープ筋の定着も不十分であった (写真 15)。

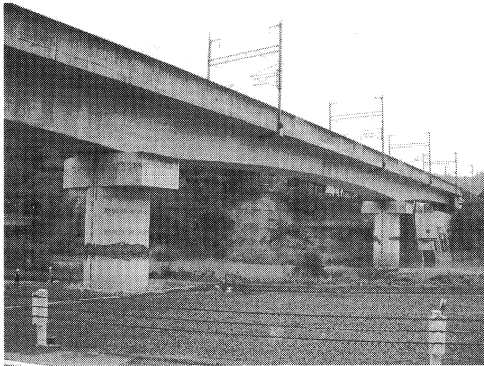


写真-14 魚沼橋梁 (上越新幹線)

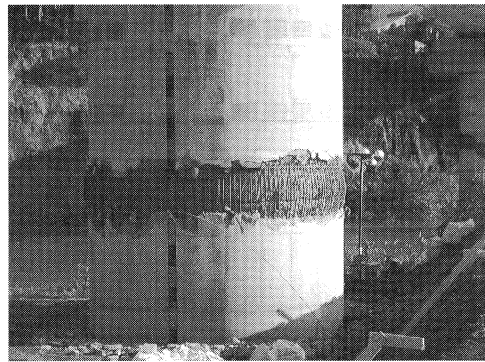


写真-15 段落し部の損傷

魚沼トンネルのコンクリートライニングは、軸方向の地盤が大きく縮んだため、軸圧縮力を受けて、まるで中空のシリンダー供試体が圧縮破壊したような破壊を生じていた (写真 16)。

昭和 4 年に開通した飯山線には、無筋コンクリートの橋脚が国道 17 号線および信濃川を渡る橋梁に用いられている。今回の地震で倒壊はしなかったが、コンクリートの打継目で部分的に破壊しているものが見られた (写真 17)。

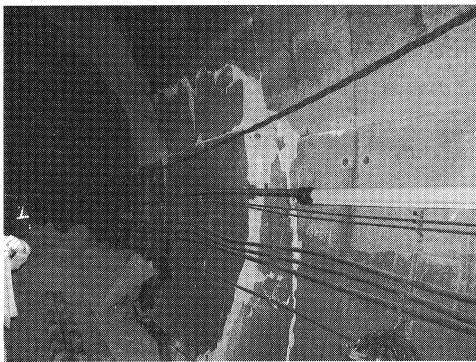


写真-16 ライニングの圧壊

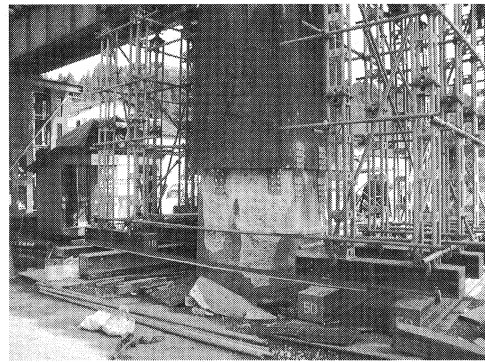


写真-17 無筋コンクリート橋脚の破壊

4. コンクリート構造物の耐震設計

被災を受けたコンクリート構造物の応答については、まだ十分な解析がなされていないが、現状で得られている結果からすると、2002 年制定の土木学会コンクリート標準示方書耐震性能照査編[7]で評価が可能である。特に、実部材においてせん断耐力と曲げ耐力の比が 2 以上ある場合にはせん断破壊は生じておらず、比が 1 以下のものにせん断破壊が生じている。この場合でも、前項で述べたように、当初の評価では OK であったものが、橋脚の周辺状態 (盛土、附属物の設置) の変化で結果として比が 1 あるいは 1 以下となったものである。

耐震性能照査編では、構造細目に特に注意を喚起している。例えば、軸方向鉄筋の途中定着についてである。図3に示すように、途中定着部から発生したひび割れが斜めひび割れに発達しないよう、十分な余裕をもって定着することとしている。今回、途中定着部でひび割れが発生した橋脚がいくつか見られた。いずれも、20年以上前に建設されたもので、兵庫県南部地震後の示方書の基準に準じたものではない。ただし、特に大きな損傷には至っていない。したがって、あまり問題とすることもないが、適切な補強をすることで、この種の損傷を回避することは可能である。

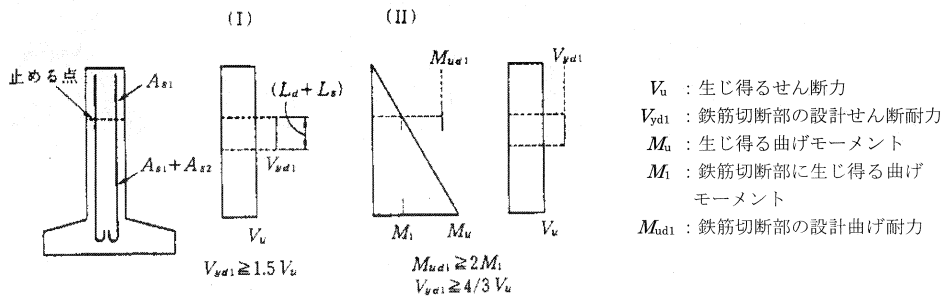


図-3 軸方向鉄筋の途中定着

また、フープ筋の定着が不十分なケースも見られた。これについても、耐震性能照査編では図4に示すような確実な定着を規定している。既存の構造物において、せん断性状が卓越すると予想される箇所、建設時に準拠した基準類でフープ筋の定着に関する条項が不十分と判断される場合には、適切な補強が必要である。

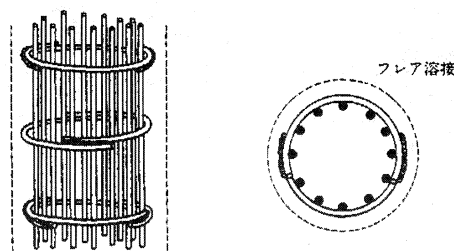


図-4 フープ筋の定着方法

5. あとがき

地震の予知はまだあまり信頼されるレベルにはないと思われるが、後で考えると思い当たることがある。地震の発生するおよそ1ヶ月前に、NHKのニュースで新潟県の中越地方は地震の空白地域で、向こう30年間に地震の発生する確率は2%であるとの報道がなされていた。“新潟県中越地方”と限定した予測を全国放送で行ったわけなので、もっと危機感を持ってよかったか

もしれない。しかし、宮城県沖地震や東南海・南海地震の発生が間近であるとの報道が毎年なされ、その対策もおさおさ怠りない様子が TV に流れてくる現状では、中越地震が先に起きるとは予想だにできなかった。そう言えば、数年前にも週刊誌で中越地方、特に信濃川沿いに地震が起きる可能性が高いとの報道もあった。その時にも、人騒がせな報告だと歯牙にもかけなかった。予知の精度もさることながら、危機に備える心構えもなかなか難しい。

報道の実態も、直かに経験してみても分かることがある。地震後 1 週間して、某 TV 局から被災現場を一緒に回って解説してほしいとの依頼があった。報道担当者としては、土木構造物関係の施工不良を暴き出すのが主目的のようであった。丸 2 日間、相手の報道車に乗せてもらって、被災現場を見て回ったが、コンクリート構造物の被災はそれほど顕著でなく、むしろ地盤崩壊にともなう構造物の被災が甚だしかったため、その旨の解説となった。当初、担当者はしきりと施工不良の痕を探そうと懸命であったが、結局、私の解説に納得してしまった。その結果、この調査活動は番組での報道が取り止めとなったようで、コンクリート構造物の耐震設計や補強方法の適切さも報道されなくなってしまった。

地震直後からの復旧活動においては、地域に住む人々のモラルによるところが非常に大きい。今回の地震において、被災地への救助等の支援が早かったことの一つに、関越自動車道の復旧の早さが大きく貢献している。後で伺った話では、地元の建設関係者がいち早く自発的に道路の応急復旧に取り掛かったとのことである。その結果、関越自動車道の応急復旧は地震発生後 19 時間という非常に早い時期になされ、物資の輸送等に大きな貢献をすることとなった。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会ホームページ : <http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/index.html>
- 2) 前川宏一 : 新潟県中越地震災害第二次調査団速報—交通基盤施設の被害—、土木学会誌、vol.90, No.1, pp9-10, 2005
- 3) 睦好宏史、秋山充良、牧 剛史 : 新潟県中越地震被害報告、コンクリート工学、Vol.43, No.2, pp3-10, 2005
- 4) 国土交通省北陸整備局ホームページ : http://www.hrr.mlit.go.jp/saigai/H161023/1023_top.html
- 5) 財団法人高速道路技術センター : 平成 16 年度新潟県中越地震復旧対策検討業務報告書、平成 17 年 3 月
- 6) JR 東日本 : SED 第 24 号 特集「新潟県中越地震と鉄道」、2005 年 8 月
- 7) 土木学会 : 2002 年制定コンクリート標準示方書[耐震性能照査編]、2002 年 12 月