

中国汶川大地震 による唐家山 天然ダム調査

石川 芳治

いしかわ よしはる

東京農工大学大学院

共生科学技術研究院 教授

図-1 四川省成都の位置図

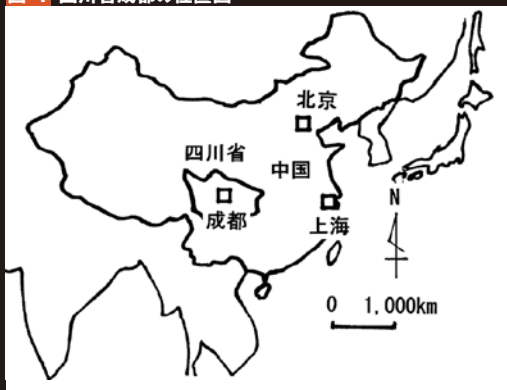


図-2 調査箇所的位置図



図-3 唐家山天然ダムと周辺位置図



1.はじめに

2008年5月12日、中国四川省において、マグニチュード8.0の汶川大地震が発生した。中国の新聞によれば地震による死者は約6万9千人、行方不明者は約1万8千人と発表されている。この地震は内陸直下型で、しかも山岳地帯で起きたために、地震断層付近の山地部では多数の地すべりや斜面崩壊が発生し、これらに伴って、各地で天然ダムが形成されて、天然ダム(堰き止め湖)の決壊による二次災害の危険性が高まった。中国水利部の発表では汶川大地震により四川省内で34個の天然ダムが発生した。これらのうち最大のものが唐家山における斜面崩壊により発生した天然ダムである。2008年7月末の現地調査に引き続き、2009年9月19～25日に砂防学会の調査団の一員として汶川大地震による土砂災害現場の調査を行ったので、主に北川県で発生した唐家山天然ダムについて報告する。

汶川大地震の調査に関連して(社)砂防学会と中国科学院成都山地災害及び環境研究所では、2008年10月12日に「地震砂防に関する共同研究協議書」に調印し、地震による土砂災害対策に関する共同研究を開始している。日本側からは2008年12月6～10日には第一次の、2009年9月19～25日には第二次の調査団が成都山地災害、環境研究所、汶川大地震の被災地を訪れて調査および共同研究を開始している。

2.地震および地形の概要

汶川大地震の震源の位置は、四川省図-1汶川県内で、震源の深さは約19kmである。マグニチュードは中国地震局の発表では8.0であり、最大級の地震である。なお、汶川大地震は我が国では「四川大地震」と呼ばれているが、中国地震局は震央の場所から「汶川大地震」という名称を用いている。

この地震は四川盆地の北西側を北東から南西に走る龍門山脈の下を走る衝上断層である龍門山断層帯の一部が動いたことにより起こったと推定されている。龍門山脈は標高4,000m前後のチベット高原に連なる山岳地帯である。今回の地震により斜面崩壊等が多発した影響範囲は四川省の北部の青川県付近から南西の汶川県に至る、距離約280km、幅約50kmの範囲であり、これは今回動いた地震断層の範囲および震度の大きい範



写真-1 唐家山および北川県曲山鎮周辺の衛星写真



写真-2 重機による緊急排水路の掘削



写真-3 6月10日水路部の拡大後の状況



写真-4 唐家山天然ダムの下流約3.2kmにある曲山鎮の被災状況。唐家山天然ダムの浸食による洪水による氾濫により市街地の一部が被害を受けた。さらに地震による周辺の山腹斜面崩壊により大きな被害を受けた。現在この地域は住民を含めて立ち入り禁止となっている(2008年7月27日撮影)



写真-5 唐家山天然ダム調査地および経路(Google航空写真を用いている)

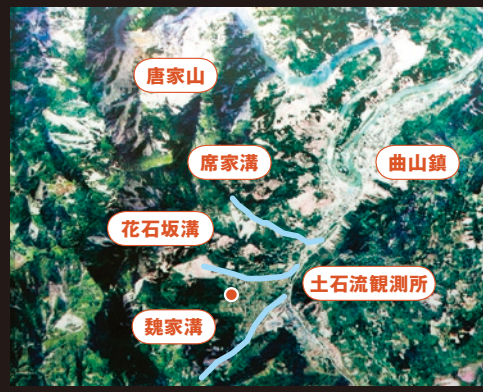


写真-6 北川県曲山鎮土石流観測所の位置図

図とほぼ一致している図-2。なお、この地域の地質について、中国では「雑岩堆」と呼ばれており原生代、古生代、中生代の堆積岩や花崗岩を中心とした非常に古い地質からなる。

3. 唐家山における天然ダムと対策の概要

唐家山(Tangjiashan)は成都市から北北東に直線距離で約90kmの位置にある標高約1,600mの山である。行政区域は四川省、綿陽市の北川チン族自治県にあたる。汶川大地震により唐家山で大規模な斜面崩壊が発生し、この崩土が三湍江川を閉塞させて、高さ約80m、想定湛水量約3.2億 m^3 (実際に湛水したのは約2.5億 m^3)、集水面積3,550 km^2 の大規模な天然ダムが形成された写真-1。唐家山天然ダムの下流約3.2kmには北川県の県庁所在地である人口約2万人の曲山鎮があり図-3、この天然ダムが決壊すれば下流にある綿陽市等の都市が壊滅的な被害を受ける恐れがあるため、中国政府により大型のヘリコプター^{★1}を用いて大勢の武装警察の水電部隊や多量の機材が現地に送られて、湛水地の水位を下げて被害を軽減するための排水路の掘削工事が行われた写真-2。完成した緊急排水路の概要^{★2}は次のと

おりである。施工延長:475m、呑口部標高:740m、底幅:7m以上、水路のり勾配1:1.5、中間部標高:740m、底幅:7m以上、水路のり勾配1:1.45、吐口部標高:739m、底幅:10m以上、水路のり勾配1:1.35。掘削工事と平行して、天然ダムの決壊による洪水の被害を予測して下流の住民の避難計画^{★3}が作成された。下流の避難対象住民約15万人のうち約7万人が5月末までに避難した。6月7日には掘削された排水路からの排水が始まり、6月10日には掘削された排水路が急速に侵食されて水位が約40m低下し写真-3、湛水量は約2.5億 m^3 から約0.9億 m^3 に低下し、北川県曲山鎮付近では流量は約6,500 m^3 /秒に達した(新華社および、人民日報ホームページより、<http://pic.people.com.cn>)。下流では綿陽市の危険区域内の住民が避難するという大がかりな非常体制が敷かれ、橋梁の橋脚の緊急補強等の洪水対策が行われ、大洪水に備えたが、結果的には、天然ダムの直下流にある曲山鎮の町を除くと、大都市綿陽市を含む下流地域では河川の氾濫も発生することなく、事態は終了した。唐家山の天然ダムの侵食時に流出した洪水と土砂により下流の曲山鎮では洪水が市街地の一部に氾濫し、流下した土砂により河床が著しく上昇しており、市街地の一部が土砂により埋没していた。さらに、地震により市街地の西



写真-7 北川県曲山鎮の土石流観測所



写真-8 北川県魏家溝の土石流発生渓流
2008年9月24日に土石流が発生し20名の人命が失われた。現在は流路が掘削されている



写真-9 北川県魏家溝における土石流および地滑り警戒避難体制を示した看板。集落毎に避難責任者と電話番号が記されている



写真-10 唐家山天然ダムの上流約12kmに位置する禹里の町。唐家山天然ダムの湛水により、一時的には川沿いの市街地は水没したが、排水による水位低下により市街地は再び居住が可能となっている



写真-11 唐家山天然ダムの湛水池の上流端に位置する禹里の舟着場。ここから湛水池沿岸の小集落に往復するための舟が発着している。私たちがここから唐家山天然ダムへと向かった



写真-12 唐家山天然ダムの湛水池下流端にある臨時船着場。ここから唐家山天然ダムの左岸側に登れる

側と東側において大規模な斜面崩壊が発生し、崩土が市街地を襲い、広い面積にわたり建物が破壊されていた**写真-4**。このように、曲山鎮は地震および土砂災害により壊滅的な被害を受けており、町の再建は不可能と判断されて、住民は全員この地区の外に移住あるいは避難し、立ち入り禁止となっており、鉄条網のついた鉄柵により封鎖されている。なお、曲山鎮付近の地質は砂岩、泥岩および苦灰岩(炭酸塩岩)である。

4. 唐家山天然ダム等の現地調査

4-1 北川県曲山鎮付近における土石流観測所

2009年9月20日に北川県曲山鎮の現地調査を行った。北川県曲山鎮では、成都山地災害及び環境研究所の崔鵬教授が設置している土石流観測所を訪れた**写真-5,6,7**。観測所付近には地震断層が走っており、周辺の山地では地震により多数の崩壊が発生して、崩土が山腹や渓流の上流部に堆積しており、ここを流れる魏家溝、花石板溝、席家溝の渓流では土石流が発生しやすい状況にあるために土石流観測所を設置したとのことであった。流域に8個の雨量計を始めとして、土壌水分計、伸縮計などが設置されている。魏家溝**写真-8**では

2008年9月24日に土石流が発生し下流の扇状地に土石流が氾濫して死者20名および周辺の家屋や学校に被害を与えた。この時の雨量は最大時間雨量が41mm/hr、連続雨量が178mmであった。魏家溝沿いには土石流および地滑り警戒避難体制を示した看板が設置されていて**写真-9**周辺の集落毎に避難責任者と電話番号が記されている。実用的な土石流や地滑りに対する警戒避難体制整備の一つの方法として参考になる。

4-2 唐家山天然ダムの調査

龍門山脈の東側から唐家山天然ダムに行くには、曲山鎮を通過して三湍江川沿いに上流に遡るのが最も近道であるが、調査時点では曲山鎮は立ち入り禁止で入ることはできなかった。そこで、唐家山天然ダムから約12km上流にある禹里に行ってそこから湛水池上を船で唐家山天然ダムに向かうこととなった。曲山鎮土石流観測所から禹里に行くためには、自動車で播鼓鎮を通過して西に進み、山道を登り、標高2,050m付近の峠を越えて北につづら折れの山道を下って禹里に至る**写真-10**。禹里は唐家山天然ダムの湛水池の上流端に位置しており、湛水池周辺の集落への渡し船の船着き場がある。禹里は唐家山天然ダムの湛水により一時水没し、町の建物の6階まで水位が上昇したとのことであった。その後、



写真-13 唐家山天然ダムの上流部の流路、すなわち湛水池最下流端。左岸から右岸を望む。右手が上流



写真-14 唐家山の大崩壊。左岸から右岸下流方向を望む



写真-15 唐家山天然ダム左岸に設置されている気象観測機器。テント内は無人があった。



写真-16 唐家山天然ダム左岸上に残されているスローガンと給水タンク



写真-17 唐家山天然ダムの下流。左岸から右岸の大崩壊地を望む。右岸側にはすでに斜面中腹に自動車の走れる山道が設置されている



写真-18 唐家山天然ダムの河床部にある崩壊堆積物(堆積岩類)。大きさは数十cm



写真-19 唐家山天然ダムの下流の状況。上流から下流を望む

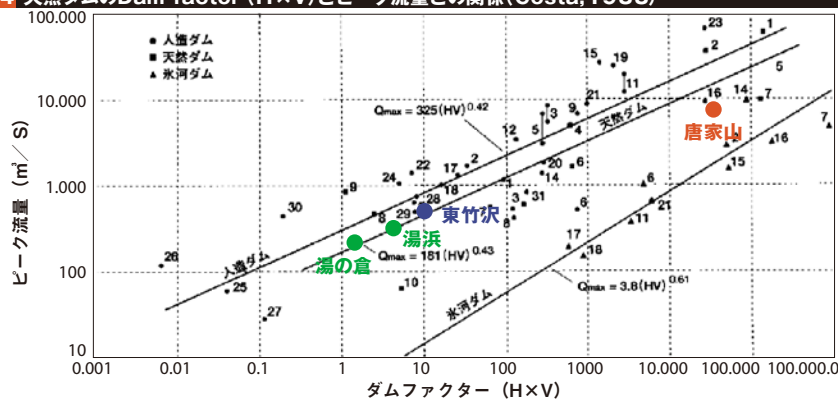
排水路の開削とその後の浸食により湛水池の水位が低下し、現在では市街地から水が引いて住民も戻ってきている。しかしながら町の復興は途上にあり三湍江川に架かる車道橋も被災を受けたままで、自動車の通行は禁止となっていた。

禹里にある船着場写真-11から船に乗って湛水池上を約12km下ると唐家山天然ダムの上流部、すなわち湛水池の下流に到着する。左岸側に臨時の船着き場写真-12があり、そこから急斜面を約60m登ると左岸側の崩土の堆積地の上に出る写真-13。右岸の唐家山は山頂部が標高約1,600mで、崩壊前の河床部の標高は約670mであった。地震により三湍江川に面する北西側の勾配約31度の斜面が高さ約600m、幅600mにわたって崩壊した写真-14。崩壊土砂量は北京青年報^{*4}によれば約2,037万 m^3 であった。堤体の長さは803.4m、堤体幅は611.8m、元河床の高さは667.5mで、堤体の右岸側の高さ(比高)は82.65mで標高は750.2m、左岸側の高さ(比高)は124.4mで標高は791.9mであった。可能最大湛水量は約3.1億 m^3 であったが、実際の最大湛水量は2008年6月9日20時の2億4860万 m^3 であり、最大実績湛水位約743mであった。上流の流域面積は約3,550 km^2 で、湛水池の長さは約20kmであった。右岸側の山腹斜面で発生

した崩壊による崩土は左岸側に衝突したために、右岸側よりも左岸側に高く堆積した。このため、右岸側のほうがやや低くなるように堆積した。全体としては、河道の中央部が両岸よりも低くなり、連続した溝のような地形が形成された。その底幅は約20~40mであった。この溝のような地形を利用して武装警察の水電部隊により緊急排水路が建設された。

左岸の崩土堆積地の上は調査時点では無人となっており、雨量計などの気象観測機器が設置されていた写真-15。また、地震直後の排水路の掘削時に設置されたと思われるスローガンを示す看板や使用されなくなった給水車タンクが残っていた写真-16。天然ダムの下流部から唐家山の大崩壊地を望むと流路はほぼ安定している様子であり、右岸の斜面中腹には自動車が走れる山道が設置されていた写真-17。下流の河床は比較的粒径の大きな(平均的には数十cm)堆積岩類写真-18からなりなっており浸食に対しては抵抗性があると考えられる。唐家山天然ダムは現在でも高さ約40m残っているが、唐家山天然ダムの下流の河床はほぼ安定しており、今後、急速な浸食が生じることはないと考えられる写真-19。

図-4 天然ダムのDam-factor (H×V)とピーク流量との関係(Costa, 1988)



[H: 天然ダムの高さ(m), V: 湛水量(m³), Dam-factor (×10⁶ m⁴)]
ただし、東竹沢、湯浜、湯の倉のピーク流量は Costa の方法を用いた予測値

表-1 唐家山天然ダムと新潟県中越地震、岩手・宮城内陸地震による主な天然ダムの比較

天然ダム	高さ (H)m	湛水量 (V)m ³	Dam-factor (H×V)	地震
唐家山天然ダム	80	250,000,000	2.0×10 ¹⁰	汶川大地震
東竹沢	30	2,600,000	7.8×10 ⁷	新潟県中越地震
湯浜	50	850,000	4.25×10 ⁷	岩手・宮城内陸
湯の倉	30	500,000	1.5×10 ⁷	岩手・宮城内陸

4-3 下流に流下したピーク流量の検討

過去に世界で発生した主な天然ダムの決壊に伴い発生する最大洪水流量(ピーク流量)と天然ダムの規模(Dam-factor)との関係はCosta^{★5}により図-4のようにまとめられている。この図に、唐家山の天然ダムにおける排水路の通水後に発生した最大流量および2004年10月23日に発生した新潟県中越地震および2008年6月14日の岩手・宮城内陸地震により形成された主要な天然ダムの規模表-1を表示した。ただし、新潟県中越地震と岩手・宮城内陸地震により形成された主要な天然ダムは実際には決壊対策が講じられたために決壊はしておらずピーク流量はCostaの方法を用いた予測値である。通水後に唐家山の天然ダムにおいて発生した最大洪水流量は、Costaの推定している値よりもかなり小さい。このことから、災害対策として行われた緊急排水路の掘削と通水により、最大洪水流量が減少し、下流の二次災害の軽減に効果があったと推定される。また、唐家山天然ダムは新潟県中越地震および岩手・宮城内陸地震で発生した天然ダムに比べて想定される洪水規模が1オーダー以上大きいことが分かる。

5.おわりに

汶川大地震では、唐家山における大規模な天然ダム

の形成を始めとして多数の天然ダムが発生し、これらの天然ダムの決壊による二次災害対策が大規模かつ迅速に行われ、下流における被害を最小限に抑えることができたと考えられる。

我が国でも2008年6月14日に岩手・宮城内陸地震が発生し、山地部での直下型地震により大規模な地すべり、斜面崩壊およびこれに伴う天然ダムの形成、

土石流等の土砂災害が発生している。天然ダムに関しては地震直後から二次災害防止対策が行われたため下流への被害は発生していない。これらの地震による土砂災害を軽減するためには、事前に土砂災害の形態や発生箇所を予測して、適切な事前の対策を実施するとともに、二次災害対策のためのマニュアルや機器、重機を整備しておくことが重要である。このためには土砂災害の発生機構を解明するとともに発生予測手法を開発する必要がある。さらに、天然ダムが形成された場合には迅速な二次災害防止対策を実施する必要がある。唐家山の天然ダムにおける二次災害の防止対策は今後の我が国における大規模な天然ダムの二次災害対策にも多くの貴重なデータと示唆を与えており、さらに詳細に調査を行い学び取ることが必要と考えられる。

2009年9月19～25日の現地調査は砂防学会の調査団として、新潟大学の川邊洋教授(団長)、同権田豊准教授、鹿児島大学の地頭蘭隆准教授、原義文土木研究所グループ長と私の5名が参加した。訪中期間中、中国科学院成都山地災害及び環境研究所の欧国強教授に最初から最後まで案内をしていただきました。ここに心から謝意を表します。また、現地調査に関して助成をいただいた(財)砂防・地すべり技術センターおよび(社)全国治水砂防協会の皆様に謝意を表します。

★参考・引用文献

- 1 水利部、へり記事、<http://www.mwr.cn/xwpd/slyw/20080612213006fa3b62.aspx>
- 2 水利部、完成した緊急排水路の諸元、<http://www.mwr.gov.cn/xwpd/zxrd/2008053011492020a0aa.aspx>
- 3 新浪投稿ブログ 綿陽市の避難計画 http://blog.sina.com.cn/s/blog_4d8427ec010091wg.html
- 4 北京青年報、天然ダムの規模、地形、地質 <http://china.yinet.com/view.jsp?oid=40664801>
- 5 Costa, J.E.(1988):Flood from dam failures, Flood Geomorphology, p.436-439