

2000年鳥取県西部地震に伴う地殻変動の測地測量調査

Geodetic surveys of crustal deformation associated with the 2000 Tottori-ken Seibu earthquake

伏島祐一郎¹・関口春子²・粟田泰夫³・杉山雄一⁴

Yuichiro Fusejima¹, Haruko Sekiguchi², Yasuo Awata³ and Yuichi Sugiyama⁴

^{1,2,3,4}活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ/AIST, fusejima.y@aist.go.jp, haruko.sekiguchi@aist.go.jp, awata-y@aist.go.jp, sugiyama-y@aist.go.jp)

Abstract: We conducted a precise geodetic survey at many benchmarks in a small area around the northwestern edge of the surface fault ruptures associated with the 2000 Tottori-ken Seibu earthquake. It includes static GPS survey, real time kinematic GPS survey and leveling survey with an error of a few mm. The survey clarified the following points. The crustal movement due to the earthquake has dispersed in a band approximately 600 m wide. The surface fault ruptures occurred inside the band. The total vertical movement is 35 ± 10 cm. The total horizontal movement reaches 70 cm, approximately three times as large as the total displacement of the recognized surface fault ruptures.

キーワード: 地震時地殻変動, 測地測量, 地震断層, 活断層, 鳥取県西部地震

Keywords: coseismic crustal deformation, geodetic survey, surface rupture, active fault, Tottori-ken Seibu earthquake

1. はじめに

産総研活断層研究センターは, 2000年鳥取県西部地震 ($M_j=7.3$) の余震域で詳細な現地調査を行った結果, 小規模・不明瞭で, 断続・並走する複数の地震断層を見出し (第1図), それぞれの地震断層で数 cm ~ 40 cm の左横ずれ変位を計測した (伏島ほか, 2001). そして, この地震では地震断層は, 一本の断層線として現れたのではなく, 幅を持つ断層帯として現れたという認識を示した. またこの断層帯の左横ずれ変位量の総計は 50 cm を超え, 現地調査の限界のために取りこぼしてしまった変位量が, さらに加算される可能性を指摘した.

翌年には, これらの地震断層についてトレンチ掘削調査をおこない, 断層破砕帯を見出すとともに, 複数の層準においてフラワー構造および堆積物の落ち込み構造を確認した. そしてこれらの地震断層が, 活断層の再活動によって形成されたという結論を得た (伏島ほか, 2002).

これらの調査に引き続いて, 2002年11月から2003年4月にかけて, 地震時および地震後の地殻変動を検出するための測地測量調査を行った. 本稿では, その結果を報告する.

2. 調査地域

測地測量調査は, 地震断層の北西端付近に位置する, 鳥取県西伯町緑水湖周辺の 2×1.5 km の範囲で

行った (第1図). 緑水湖は, 鳥取県が管理する賀祥ダムの人造湖であり, その周回道路には, 50 ~ 150 m おきに基準点が設置され, 1970年代以降複数回, 3級水準測量および4級三角測量が実施されている (第2, 3図). これらの基準点は良好に管理され続け, 地震の直後には鳥取県によって3級水準測量が行われている. これらの基準点をさらに測量しなおすことによって, 地震時および地震後の地殻変動を高密度かつ精密に検出するとともに, 局地的な地すべりなどによる変動をある程度評価することができた.

調査地域では, 地震に伴って出現した三つの地震断層が, 伏島ほか (2001) によって記載されている. これらのうち信頼橋付近の地震断層は, それに沿う 5.4 ~ 14.5 cm の左ずれ変位が, 人工構造物の変形をもとに計測されている. また緑水園付近の地震断層についても, 同様に 12 cm 以上の左ずれ変位が見積もられている. これらの地震断層は, 調査地域の中央部に位置し, 周囲に複数の基準点が散らばっているため, それらに関係する地殻変動を知ることができた. 一方, 左ずれ変位 5.3 ~ 9 cm が計測されているもう一つの地震断層は, 調査地域北東縁の賀祥ダム付近に位置し, より北東側に基準点が存在しないため, それに関わる地殻変動について測量データを得ることはできなかった.

3. 測量方法

まず緑水湖を囲む電子基準点3点(米子・溝口・日南;第1図)から,緑水湖縁の3点の基準点に,取り付け測量を行った。すなわち,トリンプル社5700・4000SSi・4000SSEを使用した,スタティック方式2級GPS測量である。次に,緑水湖縁のこれら3点の基準点を与件として,緑水湖縁にさらに4点の基本基準点を決定した。使用した測量機器は,トリンプル社5700・4000SSi・4000SSE・4600LSであり,スタティック方式および短縮スタティック方式の,3級GPS測量を行った。

以上の7点の基準点を与件として,他の52点の基準点を求める4級RTK-GPS測量および2点のスタティック方式4級GPS測量を行った。使用した測量機器は,トリンプル社4000Ssi(固定局)・トリンプル社5700(移動局)である。RTK-GPS測量では直接観測法を採用し,「既知点1・新点・既知点2」の路線で閉合差,「既知点1・新点1・既知点2・新点2・既知点1」の路線で環閉合差を点検し,精度を管理した。さらに見通し不良などの問題からGPS測量が不可能な基準点12点について,隣接する基準点からトータルステーションを用いた測量を行った。使用したトータルステーションはジェック社FALDYで,10秒読みにより4級精度を確保した。結合多角方式によって,GPS測量結果との結合計算を行い,全基準点71点についての最終結果を,三次元網平均計算で決定した。

上下変動に関しては,標高の精度を確保するために,緑水湖縁の周回道路に沿う5km区間における,3級水準測量を行った。水準測量に使用した測量機器は,ライカ社2級レベルと2002A電子レベルである。

4. 解析

以上の測量結果と過去の測量成果から,水平変動ベクトルおよび上下変動ベクトルを算出し,それらの分布図を作成した(第2,3図)。地震前の三角測量はすべての基準点について行われたわけではなく,またそれらの成果は,散逸してしまったり精度に問題があったりしたものもあった。このため,1988年以前に実施された21点の4級三角測量成果のみが水平変動ベクトルの算出に利用できた。この三角測量は任意座標系で行われていたため,それによって得られた座標を,基準点No.8Lと同No.18Rを参照点として,現地座標に当てはめ,電子基準点から測量した座標と比較して,水平変動図(第2図)を作成した。

標高については,鳥取県によって実施された1988年12月および地震後の2000年12月の,それぞれ3級の水準測量成果が入手できた。これらの水準測量は,国家水準点との参照のうえで行われているため,上記のような現地座標への当てはめ操作は必要なかった。過去の水準測量成果についても,不備が

認められたものが取り除かれたものの,上下変動ベクトルは計61点の基準点について算出することができた(第3図)。

以上に記した過去の測量成果および今回の調査で得られた測量成果は,すべて4級以上の精度が確保されている。したがって,これらをもとに算出された変動ベクトルは,mmオーダーの誤差範囲にあることが保証されている。

5. 結果と議論

基準点No.4LとNo.16Rには,周囲と異なる方向への水平変動が認められた(第2図)。また,基準点No.17RとNo.18Rには,地震後,周囲の数倍の沈降量が求められた(第3図)。これらの異常は,地すべりなどの局地的な重力性変動によって生じたと考えるのが妥当である。以下では,これらの基準点を除いて議論を行う。

これら以外の基準点は,それらが存在する位置の地形や傾斜とは無関係に,周囲の基準点と一団となっている。特に緑水湖の湖水をたたえた谷の両側の基準点を対比することによって,この特徴が明らかとなる。またこの運動のスケールは,少なくとも調査範囲 2×1.5 kmを超えている。これらのことから,基準点の変動は,地震断層に沿う横ずれ変位も含めた,地震に関係する地殻変動を示していると判断される。

水平変動図(第2図)によると,水平方向の地震時地殻変動は,主に幅 600 ± 100 m(誤差は基準点の分布間隔)の帯のなかで分散して生じていた。この帯は,信頼橋付近と緑水園付近の2つの地震断層を含み,それらと同じ北西-南東の走向を持っている。この帯の北東側および南西側に分布する基準点が,どれもそれぞれほぼ同じ方向へ,ほぼ同じ量だけ変動していることから,帯の両側はそれぞれが一団となって水平変動したことがわかる。すなわち帯を境とした横ずれが生じた。この横ずれの方向とセンスは,南東から北西方向に向かう左ずれで,地震断層に沿う横ずれ変位のそれらに等しい。つまり,地震断層が地震時地殻変動の一翼を担っていたことが実証された。

水平変動量の総計は70 cmで,この量は地震断層に沿って計測された横ずれ変位量の総計(26.5 cm)の2倍を超え,3倍に迫る。また,今回の調査では,賀祥ダム付近の地震断層(第2図)周辺の地殻変動量を明らかにできなかったが,これを地震断層に沿って計測された横ずれ量の3倍と仮定すれば,16~27 cmと試算される。この量と今回の調査で得られた70 cmとの和が,「地震断層帯」北西部における水平変動量として見積もられ,それは1 mに迫る値となる。

地震断層に沿う横ずれ量以外の水平変動量の実

態は、どのようなものであろうか。以下の場合が想定できる。1) 地震断層に沿う横ずれ量は、人工構造物の破壊の観察に基づいて間接的に計測されたため、負の系統誤差を含んで過小に見積もられている、2) 見過ごされてしまった地震断層に沿う横ずれ変位、3) 塑性変形、4) これらの複合。伏島ほか(2001)は、地震断層調査の限界を踏まえて、上記1)と2)の重要性を主張している。いずれにせよ、地震断層に沿う横ずれ変位が、量的にも地震時地殻変動の重要な部分を占めていることは明らかである。

上下変動図(第3図)からは、北東側から南西方向へ傾き下がる傾動運動と、地震断層付近での複雑な変動を読みとることができる。調査地域北東縁では、5 cm以下の隆起が、南西部では 30 ± 10 cm(誤差はレンジ)の沈降が生じた。沈降量は、大局的には北東から南西方向に向かって漸増しているが、3つの地震断層の付近では、複雑な急減・急増が認められる。この急減・急増は、雁行する地震断層に沿う左横ずれ変位に伴って生じた、局所的な隆起・沈降と解釈するのが妥当であろう。この解釈が正しければ、上下変動に関しても、地震断層が重要な役割を果たしていたとすることができる。

北東側から南西方向へ傾き下がる傾動運動は、地震後も継続していたことが、上下変動図(第3図)に示されている。調査地域北東縁では、1 cm以下、南西部では 2 ± 1 cm(誤差はレンジ)の、共に沈降が生じた。沈降量は北東から南西方向に向かって漸増している。微量なため、地震断層付近における沈降量の変化はわからない。

6. まとめ

2000年鳥取県西部地震に伴って出現した地震断層を含む範囲に、高密度に設置されていた基準点を改めて測量することによって、地震時および地震後の地殻変動を、高精度に検出することができた。地殻変動は、地震断層を含む帯のなかで分散して生じ、帯の両側がそれぞれ一団となって変動した。地震時水平変動量の総計は70 cm、上下変動量の総計は 35 ± 10 cmであり、水平変動量は、地震断層に沿って

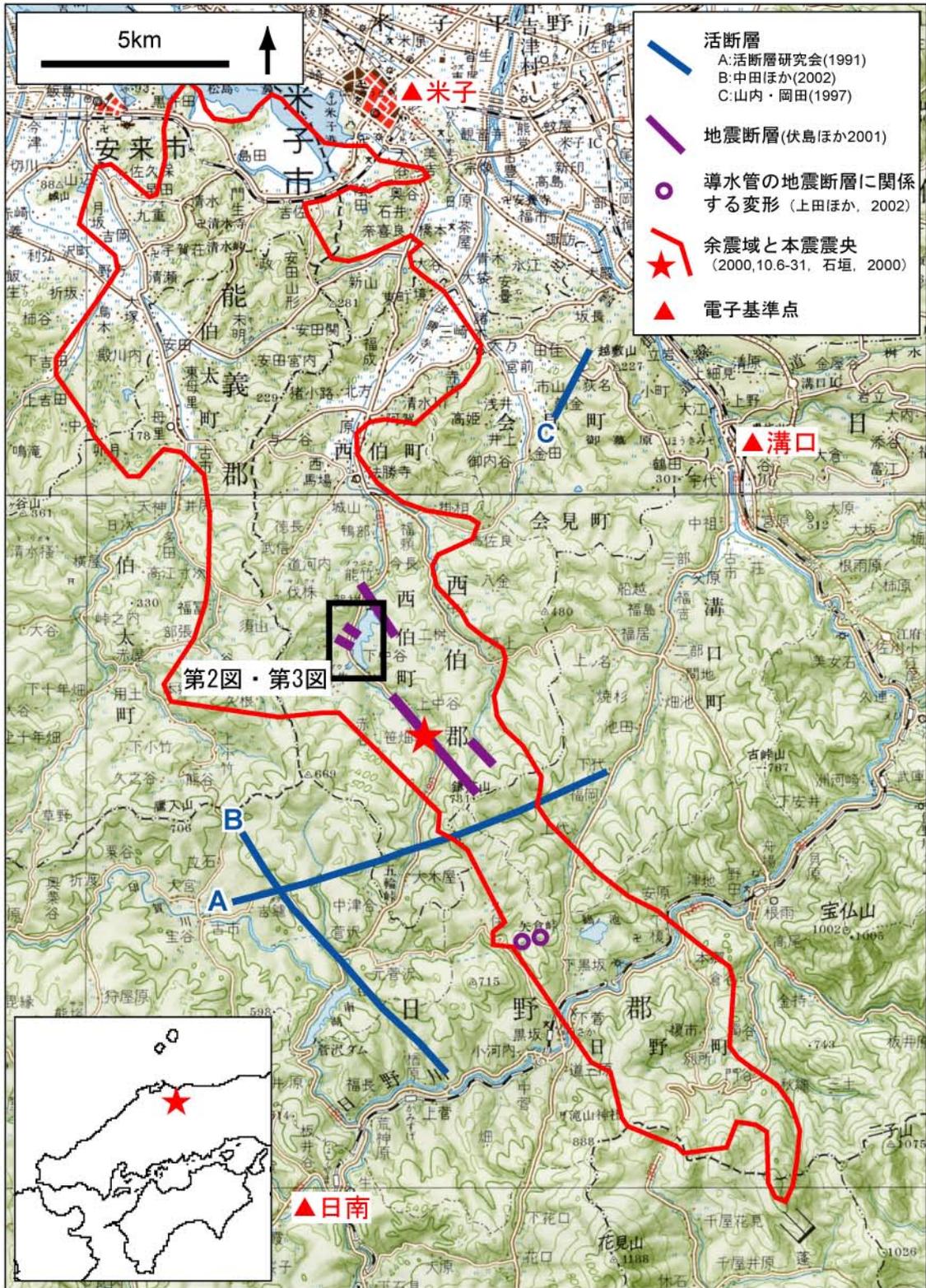
計測された横ずれ量の3倍に迫る。これらの結果は、地震断層が幅を持つ断層帯として出現したという、伏島ほか(2001)が示した認識を強く支持する。

謝辞 本調査を実施するにあたり、鳥取県米子地方県土整備局には、賀祥ダム周辺の基準点を使用した測量と過去の測量成果の参照を許可していただいた。特に同局賀祥ダム管理事務所の藤原康則氏には、現地でお世話いただいた。国土交通省国土地理院には、電子基準点をはじめとする国家基準点の使用許可と、測量成果の参照許可をいただいた。測量作業は、アジア航測株式会社に担当していただいた。これらの方々に深く感謝申し上げます。

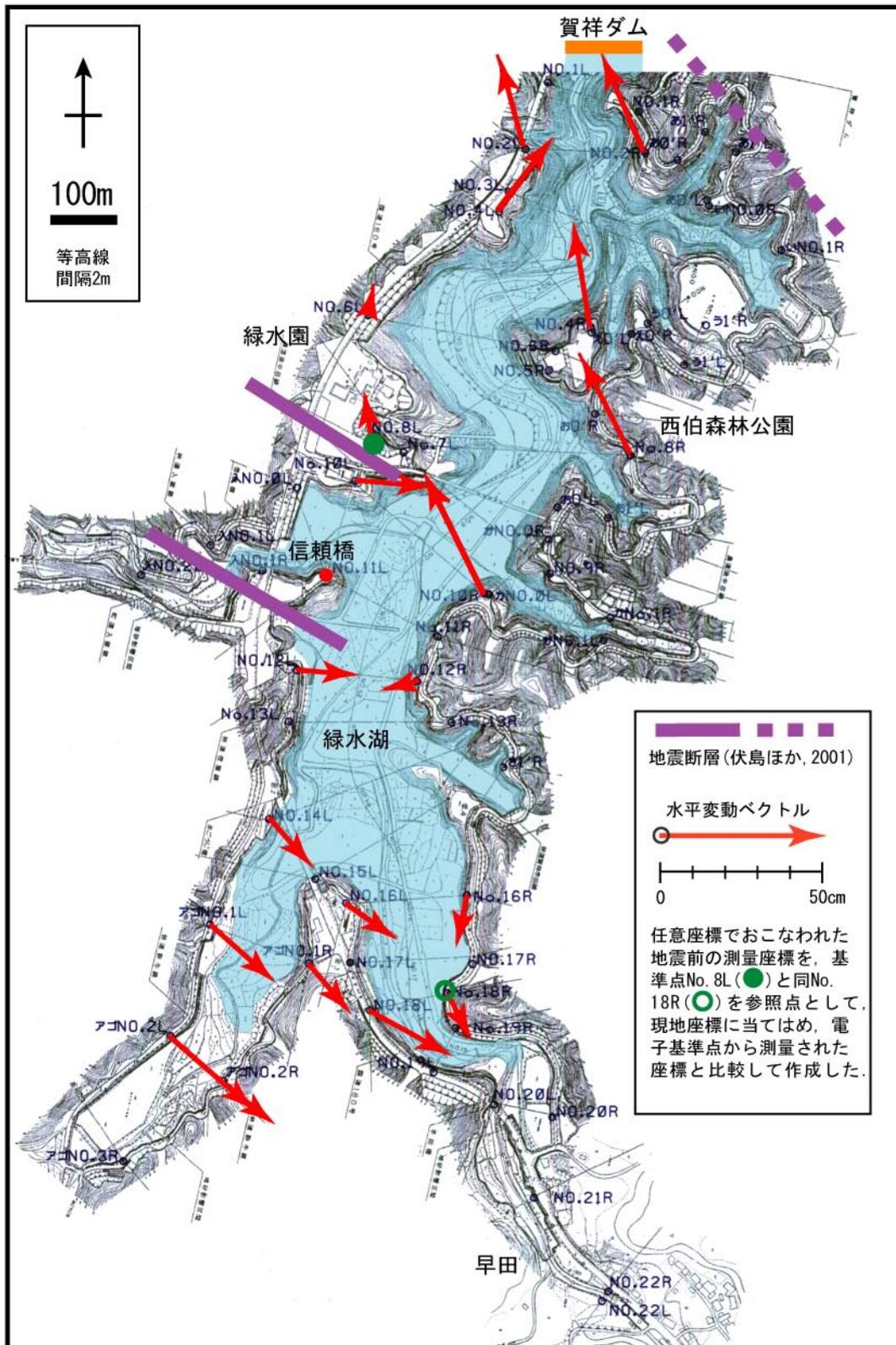
文献

- 伏島祐一郎・吉岡敏和・水野清秀・穴倉正展・井村隆介・小松原啄・佐々木俊法(2001)2000年鳥取県西部地震の地震断層調査。活断層・古地震研究報告, No. 1(2001年), 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 1-26。
- 伏島祐一郎・井村隆介・森野道夫・杉山雄一・水野清秀(2002)2000年鳥取県西部地震断層のトレンチ掘削調査。活断層・古地震研究報告, No. 2(2002年), 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 183-208。
- 石垣祐三(2000)平成12年(2000年)鳥取県西部地震。気象, 44, No. 12, 34-39。
- 活断層研究会(1991)新編日本の活断層 分布図と資料。東京大学出版会, 437 p。
- 中田高・今泉俊文編(2002)「活断層詳細デジタルマップ」, 東京大学出版会。
- 上田圭一・宮越勝義・井上大栄(2002)2000年鳥取県西部地震に伴う導水路トンネルの左横ずれ変位。地震, 54, 547-556。
- 山内靖喜・岡田龍平(1997)米子市南方で新たに見つかった活断層。地球科学, 51, 133-145。

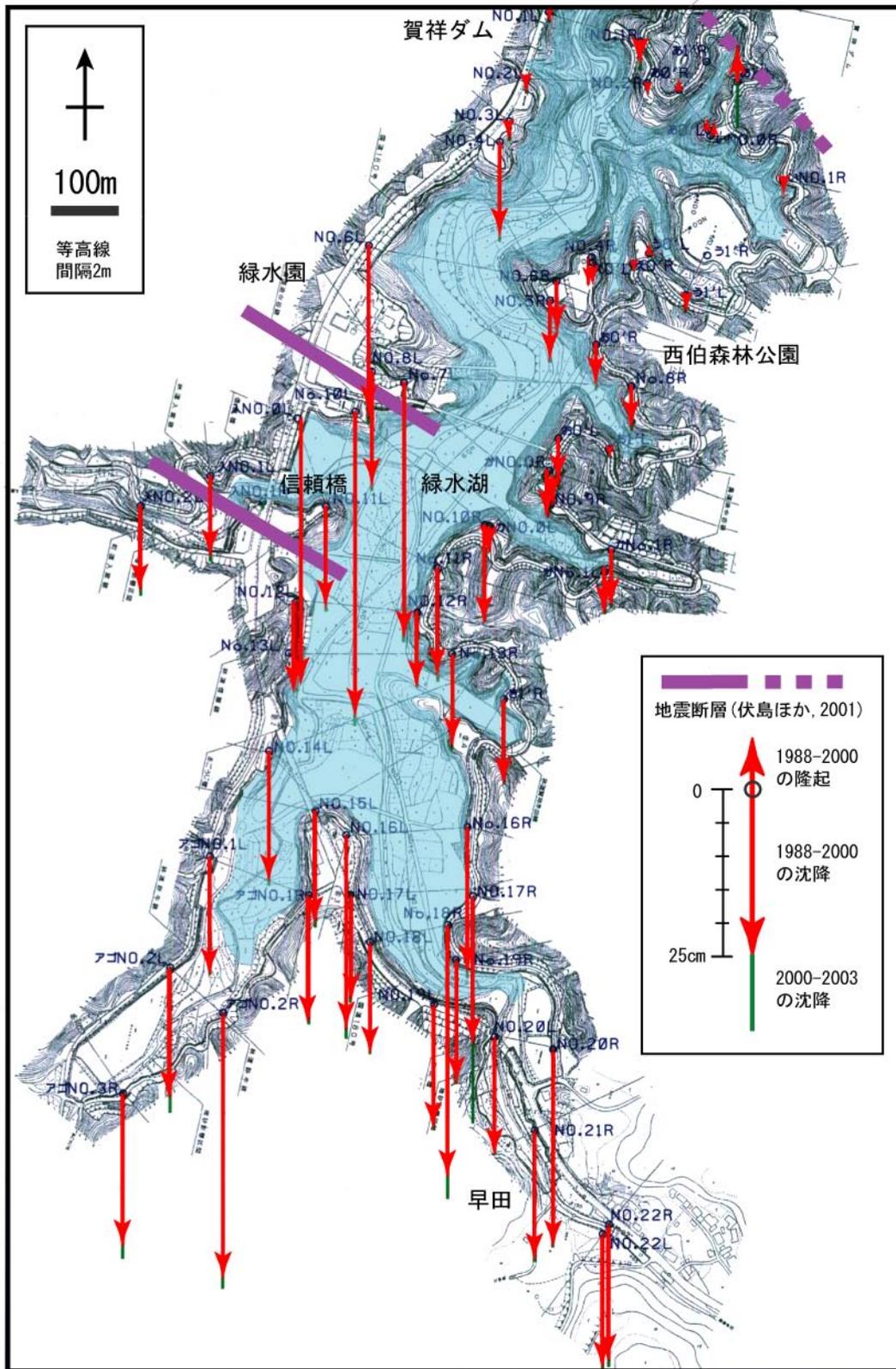
(受付:2003年9月3日,受理:2003年10月17日)



第1図. 調査地域の概要. 国土地理院発行200,000分の1地勢図「松江および高梁」を使用.
 Fig. 1. Locality map of the study area.



第2図. 緑水湖周辺の水平変動。背景に鳥取県賀祥ダム貯水池平面図を使用。
Fig. 2. Horizontal crustal movements around Lake Ryokusui.



第3図. 緑水湖周辺の上下変動. 背景に鳥取県賀祥ダム貯水池平面図を使用.
Fig. 3. Vertical crustal movements around Lake Ryokusui.