

論文

安積疎水取水口における土砂堆積と周辺湖浜の漂砂環境との関連

田中 仁*・藤田 豊**・岡島 直也*

Relationship between Sediment Deposit in an Intake Pond of the Asaka Channel and Sedimentary Environment in Lake Inawashiro

Hitoshi TANAKA*, Yutaka FUJITA** and Naoya OKAJIMA*

Abstract

Investigations on shoreline change in a lake are useful for understanding similarity law of coastal sedimentation processes, because the scale of topographical change and external forces are smaller in a lake than those encountered along seashore, but sufficiently bigger than those in a laboratory flume. In this study, long-term shoreline change around the mouth of the Nagase River in Lake Inawashiro, Japan is investigated by analyzing topographical maps as well as aerial photographs. The main conclusion of the present study is that the sediment supplied from the Nagase River moves in the eastern direction, because the seasonal wind in winter from northwest direction causes strong waves propagating in the eastern direction with highly oblique incident angle to the shoreline, resulting in considerable longshore sediment movement to the east. Sediment deposit in an intake pond of the Asaka Channel can be attributed to the longshore sediment movement from the Nagase River mouth.

キーワード：湖浜変化, 沿岸漂砂, 猪苗代湖, 安積疎水, 長瀬川

Key words: lake shore change, longshore sediment, Lake Inawashiro, Asaka Channel, Nagase River

1. はじめに

海浜変形に関する研究はこれまで日本各地の海岸を対象に多数行われ、枚挙に暇がない。一方、

湖における砂浜を対象とした研究も散見される。例えば、琵琶湖を対象にした宇多ら(1995)、霞ヶ浦に関する宇多ら(1987)、酒沼での研究を行っ

* 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻
Department of Civil Engineering, School of Engineering,
Tohoku University

** 日本大学工学部土木工学科
Department of Civil Engineering, School of Engineering,
Nihon University

本論文に対する討論は平成16年8月末日まで受け付ける。

た宇多ら（1992）などである。我が国の湖沼においては、例えば米国の五大湖などに比べてフェッチが短いために、一般に海浜での波浪に比べれば波高が小さく、実験室レベルと現地海浜の中間的な波浪特性を有する。このことから、漂砂現象の相似則検討のために格好の題材となる。また、人工的な営力が湖浜に作用することにより、湖浜侵食などの問題点が発生し、調査の必要性を生んでいる場も存在する。

本研究で対象とする猪苗代湖においては、近年、安積疎水取水口における土砂の堆積が問題となっている。これまでこのような土砂堆積の問題は見られず、その発生機構を明らかにすることは、実務的に、また学術的にも意義のあることである。そこで、本研究ではまず取水口付近の斜め写真や浚渫資料をもとに取水口内の土砂堆積現象の実態を明らかにする。次に、過去の地形図・空中写真の解析をもとに、この堆積現象と近隣湖浜の漂砂環境との関連を論じ、これにより取水口堆砂現象の発生機構に関する考察を行う。

2. 研究対象

福島県中央に位置する猪苗代湖（Fig. 1）は日本で第四の面積（105 km²）を誇り、強酸性の水質を有する清澄な湖として有名である。しかし、近年、湖北部地域の観光市街化に伴い、水質汚濁の

進行が問題となっている。猪苗代湖の水は福島県における重要な水源として多くの人に利用されており、良好な水質の維持は必要不可欠なものである。このため、これまで湖内の流動・水質に関する調査研究が多くなされている（例えば、藤田ら、2001）。また、Fig. 1 に示すように湖内の最大水深は 94.6 m にも達するため、夏季には顕著な水温躍層が形成され、その後の降温期には大規模な内部セイシュが観測される（戸塚ら、2001）。

湖内に流入する河川で最大のは長瀬川である。その河口位置を Fig. 1 に示した。長瀬川の流域面積は 438.9 km² である。上述した湖水の強酸性の水質は、長瀬川流域起源の酸性水の流入による。

なお、現在の安積疎水取水口は Fig. 1 に示す位置にあるが、かつてはこれより南東の山潟口に存在した（Fig. 1 内の○印）。しかし、湖水位の低下と漂砂の影響を回避するために、昭和 37 年（1962 年）に現位置に付け替えられた経緯がある（藤田、2000）。

3. 安積疎水取水口の土砂堆積問題

取水口における土砂堆積の様子を Photo 1 に示す。まず、Photo 1 (a) は 1993 年 3 月のものであり、コンクリートピア間の取水部背後においては洗掘された様子が見られるが、ピア背後部

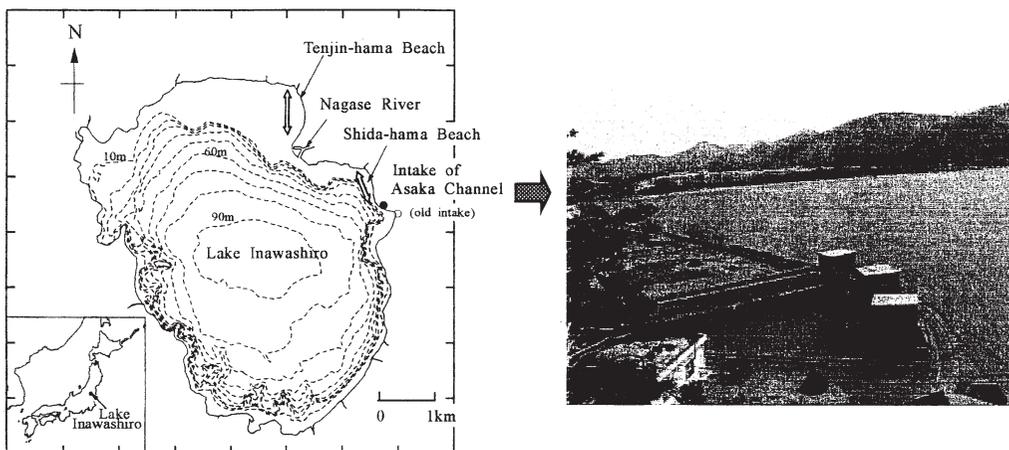


Fig. 1 Lake Inawashiro and intake gate of the Asaka Channel

には手前側に伸びる堆積が見られる。一方、Photo 1 (b) は 1996 年 3 月のものである。取水口内の排水がなされていないため、水中に没した部分も含めた堆積土砂の全容を見ることは出来ないが、右側取水部の内側にはきわめて大規模な堆積地形が見られる。Photo 1 (a) と比べるとその砂面は著しく高く、水面下にも多量の土砂が堆積しているものと推測される。

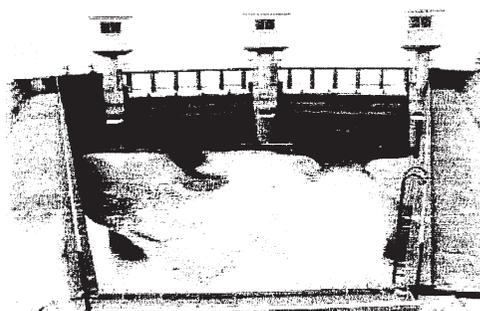
Fig. 2 は 2000 年までの取水口での浚渫土砂量の変遷を示している。なお、これ以前には浚渫は行われていないことを確認している。Photo 1 (b) に示された 1996 年には 4,000 m³ 以上の浚渫を記録しており、上記の推測通り大規模な土砂堆積であったことを裏付けている。1996 年から 2000 年にわたる平均値を求めれば、平均 1,700 m³/年となる。

後述のように、この土砂堆積は沿岸漂砂として運搬されたものが漂砂系末端に位置する取水口に達して堆積したものと考えられる。取水口での漂砂補足率は 100% ではないが大略値として上記の年平均浚渫量を沿岸漂砂量と見なし、他の水域での観測結果と比較してみる。通常の海浜において沿岸漂砂は数万 m³/年から二十万 m³/年程度のオーダーである。一方、他の湖浜における観測によれば、例えば酒沼において 100m³/年 (宇多ら, 1992), 霞ヶ浦において 164m³/年 (宇多ら, 1987), 琵琶湖において 1,583 m³/年 (宇多ら, 1995) との報告がある。これより、猪苗代湖における浚渫量はこれら一般海浜と湖沼での観測結果との中間的な値であり、特に琵琶湖での値に近い数値となっている。

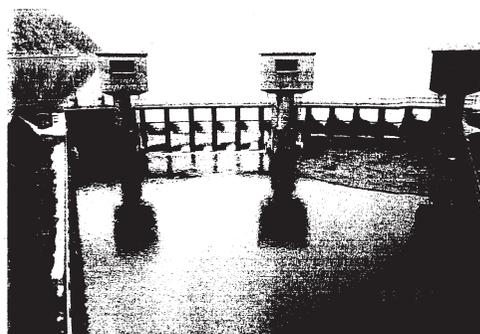
4. 猪苗代における風と波浪

猪苗代湖においてはこれまで波浪の観測が行われた記録はない。そこで、Fig. 1 に示した長瀬川河口に風速計を設置し、連続的な風速・風向観測を行った。観測の一例を Fig. 3 に示す。観測期間は 1999 年 11 月から 2000 年 2 月である。これによれば冬期には WNW の風が極端に卓越していることが認められる。特に、風速 5 m/s 以上の風についてはさらに方向の集中が顕著である。

そこで、次にこの風の条件と安積疎水取水口ま



(a) March 6, 1993



(b) March 11, 1996

Photo 1 Sediment deposit in the intake pond of Asaka Channel

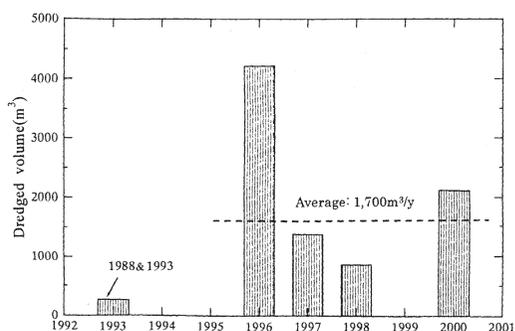


Fig. 2 Dredging in the intake pond of Asaka Channel

でのフェッチ長さをもとに SMB 法により波浪推算を行い、これをもとに計算した波向き線図を Fig. 4 に示す。なお、この条件下での波高、周期

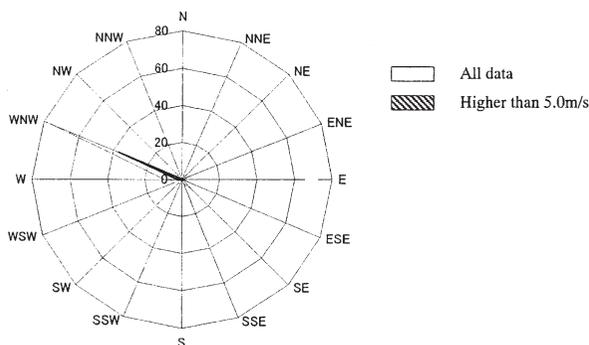


Fig. 3 Measurement of wind direction

はそれぞれ 0.53 m, 2.5 秒である。現河口より東側の湖浜においては、汀線に対する波の入射角がきわめてきつことが分かる。この点が通常の花浜と極端に異なる外力条件となっている。このような波浪条件のために、現河口より東側では活発な湖浜変形が見られるものと予想され、このことが前節で説明した安積疎水における堆積問題と関係しているものと推測される。そこで、次節においては地形図・空中写真を用いて、長瀬川河口から志田浜を経て安積疎水取水口にいたる湖浜での地形変化を検証する。

5. 空中写真に見る取水口周辺の湖浜の変遷

湖浜変形に関する解析を行うに当たり、まず国土地理院により発行された地形図、空中写真を入手した。また、日本林業技術協会の空中写真も購入した。さらに、独自の撮影も実施した。入手した資料リストを Table 1 に示す。これら地形図や空中写真はそれぞれ縮尺が不揃いであることから、統一縮尺とするためにアフィン変換による幾何補正を行った。

なお、出水期・渇水期に応じて湖水位にはおおよそ 1 m 程度の水位の変動がある。ただし、空中写真撮影時の水位情報は不明であるため、水位の変動に伴う湖浜水際位置の修正は行っていない。

Table 1 に示した地形図・写真から読みとった汀線を重ね合わせることにより、Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 を得る。Fig. 5 によれば、1908 年（明治 41

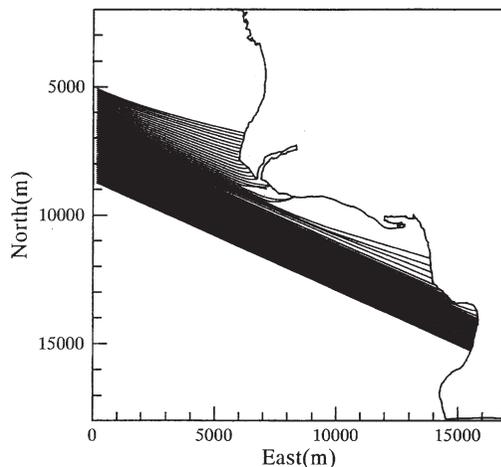


Fig. 4 Calculated wave rays approaching Shidahama Beach

Table 1 List of data source for morphological change analysis

| No. | Year | Data source | |
|-----|------|-------------------|-------------------|
| | | Topographical map | Aerial photograph |
| 1 | 1908 | ○ | |
| 2 | 1931 | ○ | |
| 3 | 1947 | | ○ |
| 4 | 1960 | ○ | |
| 5 | 1963 | | ○ |
| 6 | 1976 | | ○ |
| 7 | 1982 | | ○ |
| 8 | 1992 | | ○ |
| 9 | 1994 | | ○ |
| 10 | 1995 | | ○ |
| 11 | 2000 | | ○ |
| 12 | 2001 | | ○ |

年)には現河口(以下、河口(A)と呼ぶ。)とほぼ同じ位置で猪苗代湖に注ぐ河口があり、さらに天神浜南端に現存しないもう一つの河口(同河口(B))が見られる。吉田(1985)が指摘するように、1908年より20年前の1988年(明治21年)の磐梯山大噴火により膨大な土砂が湖に流入した。この災害時に堰止め湖として形成された裏磐梯湖沼群が多く存在するが、その中でも大きい湖である桧原湖、小野川湖、秋元湖などは一時湛水した天然ダムが湖水の水圧に耐えられず何回か崩壊し下流に土砂を流下させている。これより、当時かなりの土砂供給が長期間あったものと予想される。この際、河口付近の河道に沿ってほぼ直線的に湖に注ぐ河口(B)を通じて大量の土砂が湖に流れ込んだものと推測される。また、既述のように猪苗代湖では冬期に西風が卓越し、かつ強度も大きく高波浪が発生する傾向がある(Fig. 3, Fig. 4参照)。この波浪は河口(B)に直接入射するため、排出された土砂の一部は河口に押し込まれ、残りは北部へ輸送され砂嘴を形成している。なお、これ以降の地形図、空中写真では天神浜の方向へ北上する土砂移動により形成される砂嘴は見られない。

Fig. 5の1931年には河口(B)の砂嘴は消滅している。また、天神浜汀線の前進が顕著である。これは、河口(B)前面に堆積していた土砂が、西風が卓越する時期に長期間に渡って天神浜南端の湖岸一帯に徐々に堆積したものである。一方、河口(A)の東側には砂嘴が形成されている。これも冬期に卓越する西風により高波浪が発生し、これに伴って東方向への漂砂移動により形成されたものと判断される。Fig. 5の1947年には、河口(B)が完全に閉塞していることが確認される。

Fig. 6の1960年には河口(A)、(B)とも存在している。河口(A)の東側には小さいながらも複列の砂嘴が形成されているが、この砂嘴形状の向きから西風による波浪により形成されたものと判断される。同図の1963年4月27日の空中写真では再び河口(B)が完全に閉塞している。河口(A)の東側には砂嘴が形成されている。

Fig. 7の1976年には、河口(A)部を挟んで左

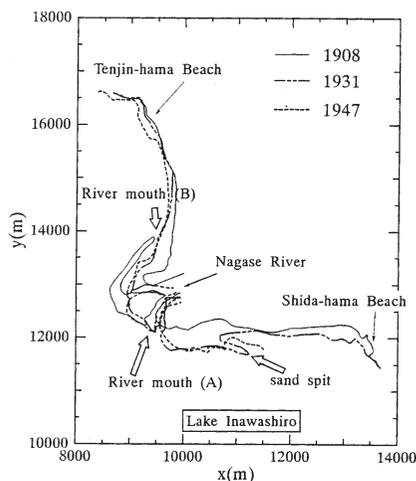


Fig. 5 Shoreline change from 1908 to 1947

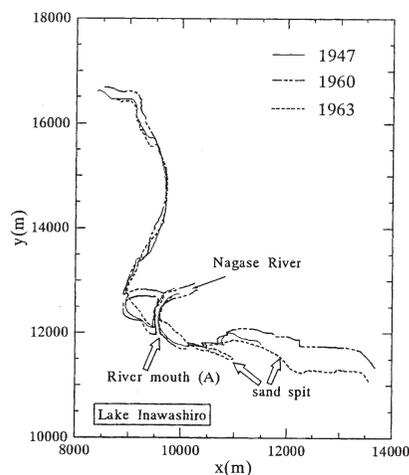


Fig. 6 Shoreline change from 1947 to 1963

右両湖岸に護岸が設置されていることが確認された。1963年と1976年の河口(A)周辺の汀線位置を比べれば、両河口にはさまれた三角州がやせてきたことが明白であり、このことが護岸設置の契機になったものと推察される。1982年において、河口(A)部付近は護岸により守られているため、顕著な地形変化はもはや見られないが、東側のかかなり離れた個所に見られる長い砂嘴の形成がきわめて特徴的である。この様に、長瀬川河口

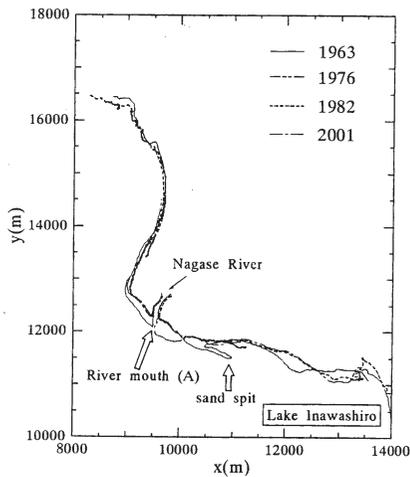


Fig. 7 Shoreline change from 1963 to 2001

東側の湖浜においては顕著な地形変化が見られる。これとは対照的に、北側の天神浜においては顕著な地形変化が見られない。1960年以降河口(B)は閉じたままであり土砂の供給が存在しないことから、この様な安定汀線形状を示している。

以上の様に、長瀬川河口東側において活発な湖浜地形変動が見られることが明らかになったが、土砂の供給をもたらす出水イベントとの対応は明らかではない。以下では、湖浜への土砂供給をもたらした出水との対応が明らかである近年の土砂堆積事象を示す。

長瀬川流域において近年発生した豪雨のうちで特筆すべきものとしては、まず、1988年8月末に起こった台風13号による出水が挙げられる。猪苗代測候所のAMeDASによる観測値(86mm)からは必ずしも長瀬川の出水には結びつかない。しかし、台風13号による雨は長瀬川の左支川である酸川上流にあたる吾妻山一帯に集中しており、気象庁鷲倉測候所ならびに吾妻測候所では、この台風時にそれぞれ総雨量444mm、433mmを記録している。事実、地元での聞き取り調査や福島県の資料より当該流域における当時の大出水が確認された。山岳地帯を中心に降った大量の雨による出水により、支川の酸川を通じて長瀬川河口にもかなり土砂が供給されたものと考えら

れる。なお、この台風出水時に裏磐梯・秋元湖に注ぐ大倉川においては河床変動が著しく、川を横切る大倉川二号橋が落下した。この際、通行中の車が落下し、11名の死者・行方不明者を出す大惨事となった。

長瀬川流域を含むこの地域で発生したもう一つの大規模な洪水としては、1998年8月下旬の洪水が挙げられる。この豪雨時の洪水により、栃木県那珂川水系余笹川や阿武隈川上流域において大きな災害が発生したことは記憶に新しい。また、この時の降雨・出水特性や被害に関する詳細な報告もなされている(例えば、中川ら、2000;伊藤ら、2000;Mano et al., 2000)。

これら二つの洪水に前後して撮影された空中写真を用いて、現河口より東側の湖浜における近年の地形変化を示した結果がFig. 8である。上記の最初の出水から4年後に当たる1992年には湖に向かって三角状に突出した堆積地形が見られる(図中(i))。その堆積形状は徐々に西方に伝搬している様に伺える。また、第二番目の出水発生から2年後の2000年には、河口左岸に新たな堆積地形が認められる(図中(ii))。

Photo 2は1994年11月5日の斜め写真であり、Fig. 8に示した1992年の写真撮影から2年後に当たる。河口(A)の東側に円弧上の砂州が形成されており、やはりこの写真が撮影される以前に大規模な土砂流出があったことを示唆している。

Photo 3は2001年1月の空中写真である。これより河口左岸のコンクリート護岸前面に、新たな大規模な砂堆積地形が形成されている。また、その東側で砂堆積地形が途切れ、さらにその東側に砂堆積地形が形成されている。時期的に判断して、この堆積地形は1998年8月末の出水によりもたらされたものと判断される。なお、この出水直後には河口部堆積地形の測量が行われている(本堂ら、2000)。その結果をFig. 9に示す。測量が行われた1999年12月の時点においても依然大規模な堆積地形を維持していることが確認される。

以上より、Fig. 8に見られる凸状の堆積地形は、

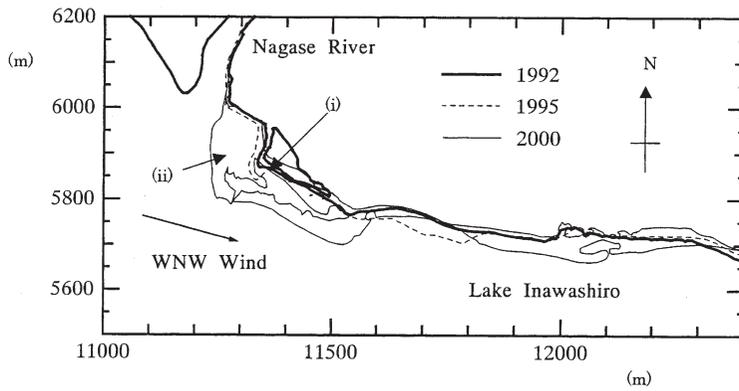


Fig. 8 Shoreline change from 1992 to 2000.

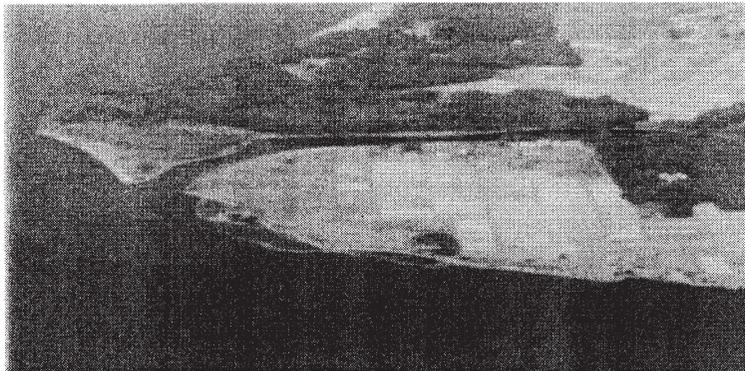


Photo 2 Oblique photograph at the Nagase River mouth (November, 1994)



Photo 3 Aerial photograph at the Nagase River mouth (August, 2000)

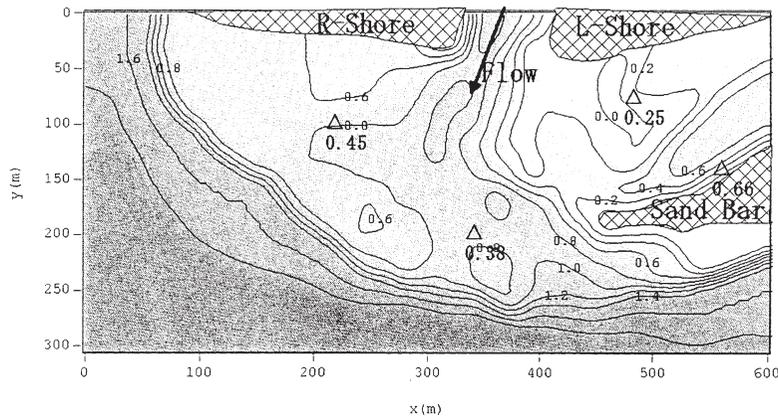


Fig. 9 Sediment deposit at the mouth of Nagase River (after Hondo et al., 2000)

これ以前の出水により河口前面に堆積した土砂が WNW からの風浪により東方に運搬される過程をとらえたものであると判断される。

6. 志田浜における湖浜変形

以上の空中写真と地形図をもとにした解析において、長瀬川河口より東側の湖浜においては顕著な地形変動が認められた。ここでは、さらに漂砂下手に位置する砂浜である志田浜での湖浜断面測量結果を示す。測線を Fig. 10 に示す。実測は、2002 年 10 月末から同 12 月初旬にかけて行われた。

測量結果を Fig. 11 に示す。Fig. 11 (a) は観測域の北端に位置し、砂嘴の末端が志田浜方向に成長しつつある場所に対応する。砂嘴の湖側で顕著な侵食が見られる。測線 3, 4 は堆積傾向にある。逆に測線 7 においてはわずかに侵食が認められる。観測期間は一月半ほどの短い期間ではあるものの、この地域においては顕著な湖浜の変動が見られる。ここで興味深い点は、水表面から約 1 m 以深においてはほとんど断面の変化が見られない点である。このことは、Fig. 11 に見られる断面変化がおもに沿岸漂砂により引き起こされたものであり、岸沖漂砂によるものではないことを表している。なお、長瀬川河口から志田浜にかけての底質調査によれば、平均粒径は 0.5 mm から 1 mm 程度である (Tanaka et al., 2003)。

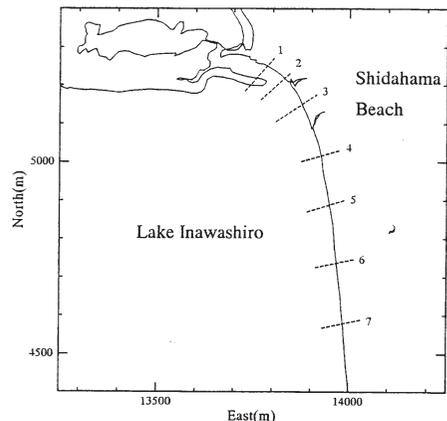


Fig. 10 Location of measuring section on Shidahama Beach

次に漂砂の移動高さを求めるために、各測線における断面積の変化 ΔA と汀線の変化量 Δy との関係調べた。結果を Fig. 12 に示す。これより、次の回帰式を得ることが出来る。

$$\Delta A = 1.36 \Delta y \quad (1)$$

ここで、長さの単位としては m を使用している。 ΔA と Δy の間の比例定数は漂砂の移動高さを示しており、式 (1) より 1.36 m との結果を得る。この値は一般の海浜での実測値 (例えば、宇多, 1997) に比べればはるかに小さい値となっている。

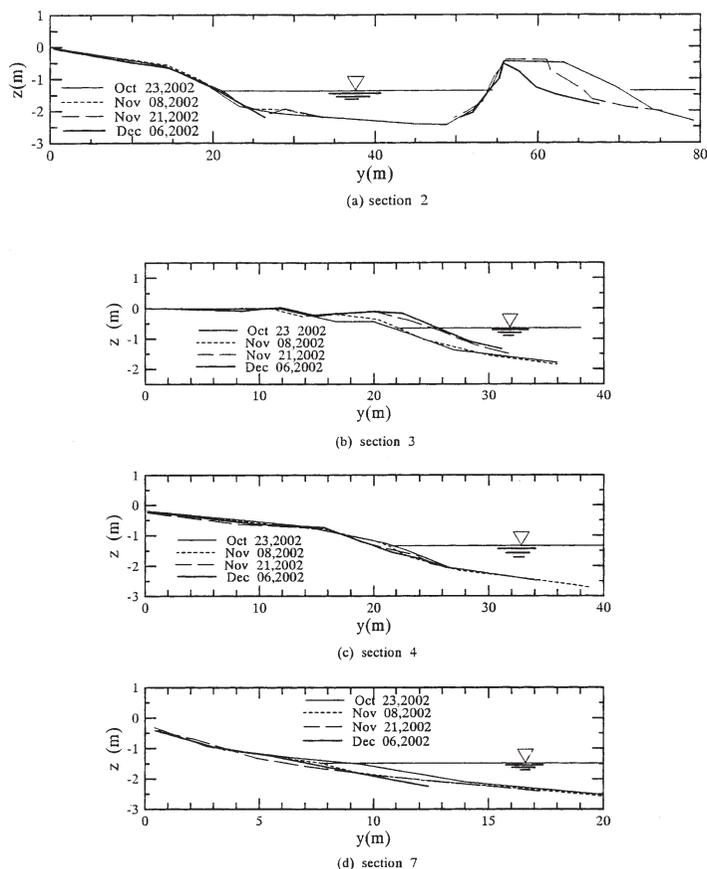


Fig. 11 Beach profile change on Shidahama Coast

一方、湖浜における観測地としては、瀬沼での 1.34 m (宇多ら, 1992), 霞ヶ浦での 0.95 m, 0.89 m (宇多ら, 1987), 琵琶湖での 1.7 m (宇多ら, 1995) などがあり, 本研究による結果はこれらとオーダ-的に符合するものである。

7. 長瀬川河口周辺の漂砂環境と安積疎水取水口での堆砂との関連

以上に述べた様に, 長瀬川河口左岸の湖浜では 100 年も前から活発な漂砂移動が観察される。特に, この湖浜においては WNW の風による風浪が汀線に対してきつい角度で入射することにより, 漂砂移動が激しいという特徴を有している。

空中写真のうちで, もっとも古いものともっと

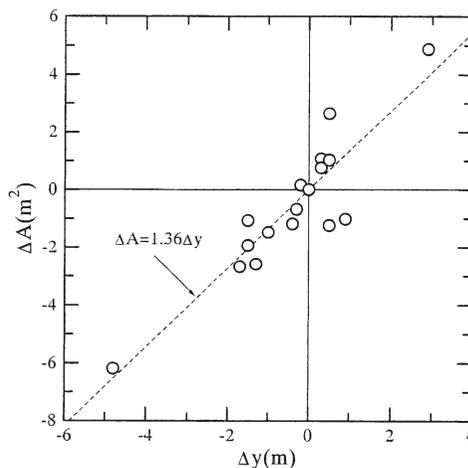


Fig. 12 Relationship between cross-sectional change and shoreline change

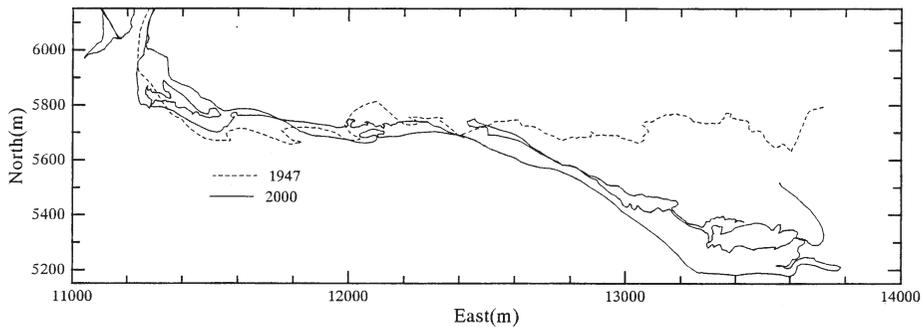


Fig. 13 Shoreline change from 1947 to 2000

新しいものから得られる汀線形状を Fig. 13 に示す。これより、志田浜北部の隅角部における陸化が著しいことが分かる。このことから、これまで安積疎水取水口において堆砂が見られなかったのは、長瀬川河口より排出された土砂がこの水域に陸化の使われ、それより漂砂下手に移動することが無かったためであると推測される。近年、この隅角部領域の砂堆積機能が飽和状態となり、土砂がさらに南部方向に移動し、安積疎水取水口にまで到達して、顕著な土砂堆積問題が顕在化してきたものと結論づけられる。実測により確認された志田浜全域における激しい漂砂移動はこのことを裏付けている。

8. 結論

本研究では、猪苗代湖に注ぐ長瀬川河口周辺の湖浜変形特性、ならびに安積疎水取水口での土砂堆積現象との関連について検討を行った。主要な結論を以下に示す。

- (1) 明治期以降の地形図・空中写真の解析の結果、長瀬川河口東側の湖浜においては土砂移動が活発であることが判明した。一方、長瀬川河口より北部に位置する天神浜においては近年顕著な地形変動は見られない。
- (2) 長瀬川河口近くにおける風の解析の結果、冬季にはその強度が強く、風向きとしてはWNWが卓越していることが判明した。この波浪は天神浜に対してはほぼ直角に来襲し、近年の安定した汀線形状はこのような外力特

性を反映したものである。一方、長瀬川河口東側の湖浜周辺にはきつい入射角で波浪が来襲することになる。このことが同河口周辺において活発な地形変動が見られる要因である。

- (3) 1989年と1998年には長瀬川流域で豪雨が発生している。空中写真において、この時の土砂流出に対応する堆積地形が確認された。
- (4) 志田浜における近年の海浜形状測定の結果、沿岸漂砂に起因する地形変動が活発であり、漂砂の移動高さとして1.36mとの数値を得た。既往の調査研究と比較すると、海浜での値に比べてはるかに小さく、他の湖浜での値と近いものになっている。
- (5) 以上の検討結果から、近年になって安積疎水取水口において土砂堆積が顕著になっている理由として、これまで志田浜北部の隅角部に堆積していた土砂が飽和状態となり、より下手側に輸送されることにより、取水口に至ったことが判明した。

謝辞

使用した空中写真の撮影に際し、株式会社国際航業の井上公人氏の尽力を得た。また、本研究に対して、文部科学省学術フロンティア推進事業(日本大学工学部)「中山間地及び地方都市における環境共生とそれを支える情報通信技術に関する研究」(代表：小野沢元久教授)、ならびに日本学術振興会・科学研究費基盤研究(B)(No.14350262, 代表：田中 仁)の補助を得た。ここに記し

て謝意を表する。

参考文献

- Mano, A., Takahashi, M., Imamura, F. and Nagabayashi, H., The August 1998 flood disaster in the Abukuma River basin, Journal of Natural Disaster Science, Vol.22, No.1, pp.1-11, 2000.
- Tanaka, H., Fujita, Y. and Okajima, N.: Morphology and sediment transport in Lake Inawashiro Japan, Proceedings of Coastal Sediments 03, 2003. (CD-ROM)
- 伊藤和典・須賀堯三・茂木信祥・池田裕一：平成10年8月末那須出水による余笹川の流路変化の特性, 水工学論文集, 第44巻, pp.407-412, 2000.
- 宇多高明・赤穂俊作・今井武雄：霞ヶ浦における風波による湖浜変形の実態, 土木学会論文集, No.381/II-7, pp.161-170, 1987.
- 宇多高明・山本幸次・畑中達也：酒沼北岸, 親沢鼻砂嘴の1983年~1990年における変形特性, 海岸工学論文集, 第39巻, pp.386-390, 1992.
- 宇多高明・吉田隆昌・西島照毅・富士川洋一：琵琶湖の野洲川放水路の開削に伴う旧河口周辺での湖浜変形, 地形, Vol.16, pp.157-175, 1995.
- 宇多高明：日本の海岸侵食, 山海堂, 442 p., 1997.
- 戸塚康則・田中 仁・藤田 豊・山路弘人・多久和学・愛川 薫・沢本正樹：猪苗代湖における内部静振観測, 水工学論文集, 第45巻, pp.1177-1182, 2001.
- 中川 一・高橋 保・里深好文：1998年洪水による那珂川水系余笹川の河動変動について, 水工学論文集, 第44巻, pp.395-400, 2000.
- 藤田龍之：安積疎水, 日本の水環境2 東北編, 技報堂出版, pp.79-85, 2000.
- 藤田 豊・田中 仁・芦澤祐一郎・大岩裕輔・岡野哲也・平石 進・中川吉規・野沢直紀・戸塚康則・山路弘人・多久和学・沢本正樹：猪苗代湖の長瀬川河口水域における流動と水質観測, 東北地域災害科学研究, 第37巻, pp.99-104, 2001.
- 本堂 亮・泉 典洋・田中 仁：河口流出土砂の堆積特性及び数値計算, 海岸工学論文集, 第47巻, p.536-540, 2000.
- 吉田 義：長瀬川三角州の形態変化と北岸の旧湖岸線, 野口記念館学報, 第7巻, 2号, pp.2-4, 1985.

(投稿受理：平成15年6月2日)

訂正稿受理：平成15年10月20日)