

離岸堤型ヘッドランド周辺から海底谷における土砂移動機構

Sediment Transport From Beach Around Coastal Structures To Submarine Canyon

吉河秀郎¹・根元謙次²・秋山幸秀³

Shuro YOSHIKAWA, Kenji NEMOTO, Yukihide AKIYAMA

Sediment carried by longshore transport moves to deep sea through the submarine canyons. The investigation of submarine topography had been conducted by narrow-multi beam echo-sounders system. Detailed bathymetric changes shows the mechanism of sediment transport from beach around coastal structures to submarine canyon. This sediment transport mainly occurs at storms related with several typhoons. Large amount of sediments appear to be migrated by sediment gravity flow at storms submarine topography and distribution pattern of bottom materials have been changed due to this processes.

1. はじめに

静岡県清水海岸 (図-1) の海岸侵食の発端は, 海岸線への主な土砂供給源である安倍川河床での 1950 ~ 60 年代の高度成長期における土砂採取であり, 同海岸はこのタイプの海岸侵食の典型的な例とされる (宇多, 2004). 1970 年頃に安倍川河口で侵食が開始し, その後, 侵食域は北東方向に伝播し, 静岡海岸をへて 1994 年には三保半島の基部, 1998 年には羽衣の松前の海岸に達した (宇多, 1997; 佐藤, 1998). 静岡県静岡土木事務所によると, 調査域周辺では海岸侵食対策として, 1989 年頃から離岸堤型ヘッドランドや消波堤が設置され, また, ヘッドランド区間 (図-1) では毎年約 35000 m³ の養浜が行われている. 同域では, 宇多 (1997), 宇多ほか (1991・1993・1994・2006), 佐藤ほか (1999) により海岸侵食の現状, ヘッドランドの効果, 漂砂等について, 深浅測量や底質調査等の結果から検討されている. 近年では, 吉河ほか (2006), 吉河・根元 (2007) がナローマルチビーム測深による高密度な海底地形資料から, 沿岸域での詳細な土砂移動機構について議論している.

本域のように海底谷が陸棚を深く刻む場所では, 沿岸漂砂により運ばれた土砂が海底谷をへて, 深海へ移動する (根元ほか, 1989; 宇多ほか, 1987, 1989; 田中ほか, 1997; 佐藤ほか, 1999 など). この沖方向の土砂移動は沿岸漂砂による土砂供給量との収支を検討する際に重要である. 本研究では, 離岸堤型ヘッドランド周辺から海底谷への土砂移動の形態と規模の季節的な変化の検討を目的として, ナローマルチビーム測深による海底地形調査を 2005, 2006 年度に実施した.

2. 調査概要

(1) 調査方法

ナローマルチビーム音響測深機 (RESON 社製: Sea-Bat8125) による海底地形調査を 05 年 7 月, 11 月, 06 年 12 月, 07 年 2 月に実施した. 同測深機は周波数が 455 KHz, 最大水深分解能 6 mm, ビーム数 240 本, スワ幅 120°, 最大更新回数が 1 秒間に 40 回, フットプリントが 1×0.5° (水深 10 m の場合, 約 15 cm) であり, 海底を高精度に面的に計測する事を可能とし, 海底の堆積環境に反映するベッドフォーム (堆積学研究会, 1998) の識別などに有効である (吉河・根元, 2007). 船位決定は, 水平方向 ±1 cm の精度を持つ RTK-GPS (Leica 社製 GPS System500), 及び水平方向 15 cm 以内

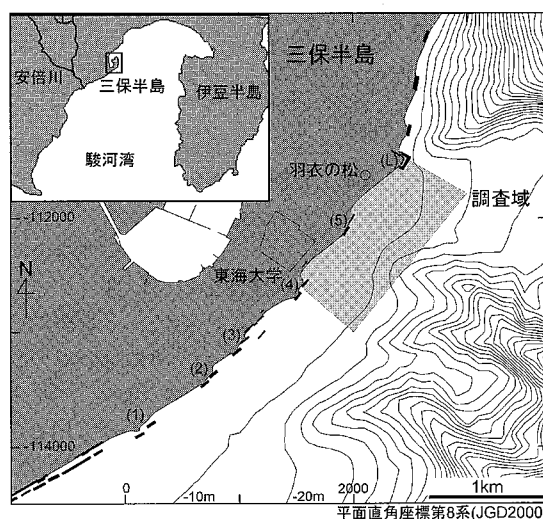


図-1 調査域 (1)~(5): 離岸堤型ヘッドランド, (L): L字突堤型ヘッドランド. (1)~(L) の背後の海岸をヘッドランド区間と呼ぶ.

1 学生会員 理修 東海大学連合大学院理工学研究科
2 理博 東海大学教授 海洋学部海洋資源学科
3 理博 朝日航洋株式会社空間事業本部

の精度とされる D-GPS (NAVCOM 社製 StarFire) を使用した。また、動揺センサー (TSS 社製 DMS-05) や方位センサー (KVH 社製 Gyrotrac) により船体の動揺と方位を測定し補正を行った。日時や海域により変化する音響速度構造の把握には、水中音速と圧力 (水深) を高精度にダイレクト測定できるカナダ APPLIED MICROSYSTEMS 社製 SVPS 型超小型高性能音速・圧力センサーを用いて、測深結果の音速補正を実施した。潮位補正は気象庁による清水港の潮汐観測資料を用いた。これらの各種データを測深収録システム (Hypack) で一括収録及び管理し、さらに、測深収録システム上でソナーヘッドや動揺センサーの船体取り付け位置のずれから発生する誤差に対する補正 (パッチテスト) を実施して、最高水準の水深資料を得た。なお、海底地形図作成のための 0.2 ~ 1 m 間隔の格子状点資料は格子内の平均水深とした。

(2) 調査域の波浪条件

静岡県土木部河川海岸整備室による 04 ~ 06 年の海象計の波浪観測資料によれば、調査域周辺の波浪は年間を通じて南 ~ 南南東方向の波浪が卓越する。また、夏 ~ 秋を中心とした台風の暴浪時には有義波高 2 m 以上の波浪が多く来襲し、最大波高が 10 m 近い場合も認められる。

夏 ~ 秋の海岸地形の変化は大きい、冬は全般に長周期の高波浪が少なく地形変化が小さい (吉河ほか, 2006)。

本研究の海底地形変化は 05 年度 (05 年 7 ~ 11 月) が夏から秋の暴波浪によるもの、06 年度 (06 年 12 月 ~ 07 年 2 月) が冬の変化を反映したものとする。

なお、本稿で用いる海岸とは汀線より陸側をさし、海底とは汀線より海側とする。

3. 海底地形からみた土砂移動

図-2 に 07 年 2 月の SeaBat 測深成果による 1 m 間隔の格子点資料から作成した調査域の海底地形陰影図を示す。陰影図の光源は北東側に想定している。

羽衣の松前の海底には、水深 10 m 付近から南東方向に張り出す地形の高まり (海底砂丘) がみられる。そのすぐ南には海底谷の谷頭が確認できる。5 号 (離岸堤型) ヘッドランド周辺の水深 5 m 付近から海底谷の谷頭部 (水深約 15 m) には直線的な筋状の高まり (サンドリッジ) が多数存在する。サンドリッジは最大傾斜方向、つまり谷軸に向け伸び、その長さは 100 ~ 400 m、比高は 20 ~ 60 cm である (図-2, 3)。

サンドリッジ間の凹部には北東 - 南西方向 (海岸線と平行) にクレスト (峰) の連続性が良い 2D 水成デューン (Ashley, 1990) が分布する (図-4 上)。水成デューン

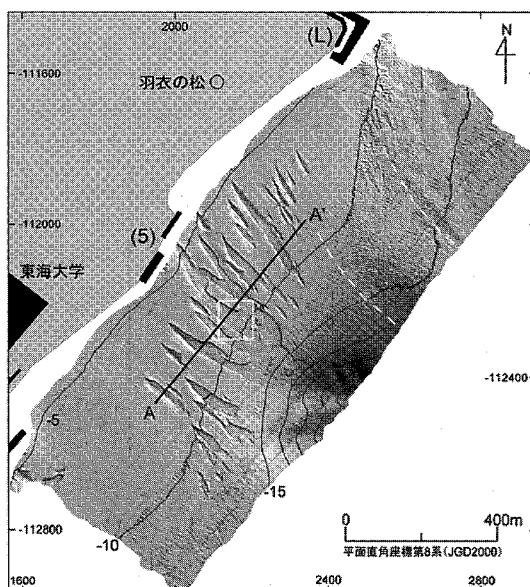


図-2 5号ヘッドランド沖の海底地形陰影図。(5): 5号ヘッドランド。図中の AA' は図-3 の断面位置、白枠は図-4 の拡大場所。白色破線内が海底砂丘。

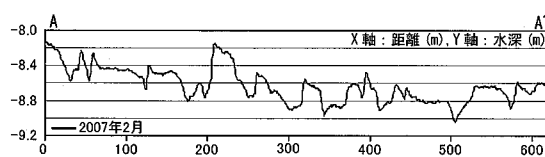


図-3 5号ヘッドランド沖のサンドリッジの断面図。断面位置は図-2を参照。

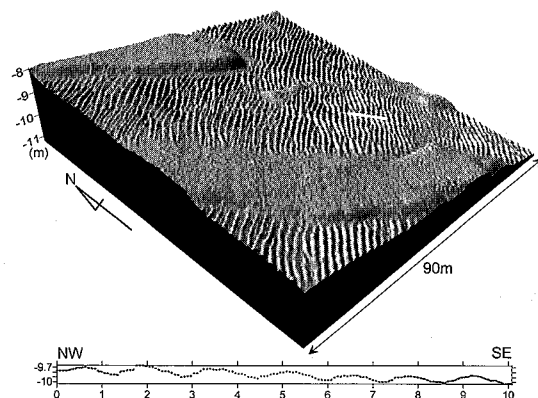


図-4 上: 水成デューンとサンドリッジの海底 3D 図。X, Y: Z = 1 : 7。拡大場所は図-2を参照。図中の白線は下図の断面位置。下: 上図の水成デューンの断面。X: 距離 (m), Y: 水深 (m)。

とは、水流で海底に形成されるリップル (砂漣) などのベッドフォームの波長が 60 cm 以上のものを指し、2D とはクレストがほぼ直線的であるものを示す (Ashley, 1990; 横川・池原, 1991)。この水成デューン

ンは波長が1～2 m, 比高10～20 cmであり, クレストが丸く対称的な断面を持つ(図-4下). このような断面を持つ水成デューンは浅海底(外浜)で暴浪時に発生する海底付近での沖向きの流れと, 暴浪による振動流が複合した流れ(複合流)により形成される(増田・横川, 1993). 以上の事から, 5号ヘッドランド周辺から海底谷への土砂移動が存在するといえる.

4. 海底での土砂移動の時期と規模

離岸堤型ヘッドランド周辺から海底谷の谷頭部ににおいて, 土砂移動の時期と規模について検討するために, 05, 06年度の測深結果による5 m 間隔の格子点資料から水深比較, 及び変化土砂量の算出を行った(図-5). また, 水深8～9 mのサンドリッジと水成デューンが発達する地域で各年度の地形断面の比較を行った(図-6). 06年度(06年12月～07年2月)が冬, 05年度(05年7～11月)が夏～秋の地形変化とする. なお, 水深変化のグレースケールは05, 06年度で統一してある. +0.2～-0.2 mの水深変化は海底陰影図の水深比較対象範囲内に色が塗られていない部分である.

冬(06年度)の変化は全体的に小さい(図-5左). 水深変化の大半が+0.2～-0.2 mであり, L字突堤型ヘッドランドのすぐ南で局所的に-0.2～-0.6 mの侵

食や+0.2～+0.6 mの堆積がみられる. サンドリッジの形態も大きな変化はせず(図-6), 冬は海底谷への土砂移動が顕著ではない. 冬の変化土砂量は侵食量が-6000 m³, 堆積量が+17000 m³, 合計+11000 m³となり堆積傾向である.

夏～秋(05年度)の水深変化(図-5右)は冬(図-5左)に比べて変化の規模が大きい. -0.2～-0.6 mの侵食域は5号ヘッドランドの東, 南東側の水成デューンの分布域(吉河・根元, 2007)で顕著であり, 水深15 m付近で最大約1 mの侵食となる. また, +0.2～+0.6 mの堆積域はサンドリッジの分布域と東海大学沖の水深5～8 mが主である. 夏～秋の変化土砂量は侵食量-34000 m³, 堆積量+12000 m³, 総変化量が-22000 m³の侵食であり, この海底侵食は断面図によるサンドリッジの縮小からも読み取れる.

冬(06年度)と夏～秋(05年度)の同範囲(図-5白色の破線内)の変化土砂量は, 夏～秋が侵食量-20000 m³, 堆積量+15000 m³, 合計-5000 m³, 冬が侵食量-3000 m³, 堆積量+8000 m³, 合計+5000 m³となる. 総変化量でみると冬と夏～秋で差異はないが, 冬に比べ夏～秋は侵食が約7倍, 堆積が約2倍となる. また, 断面図からも大規模な地形変化が確認できるのは冬より夏～秋である.

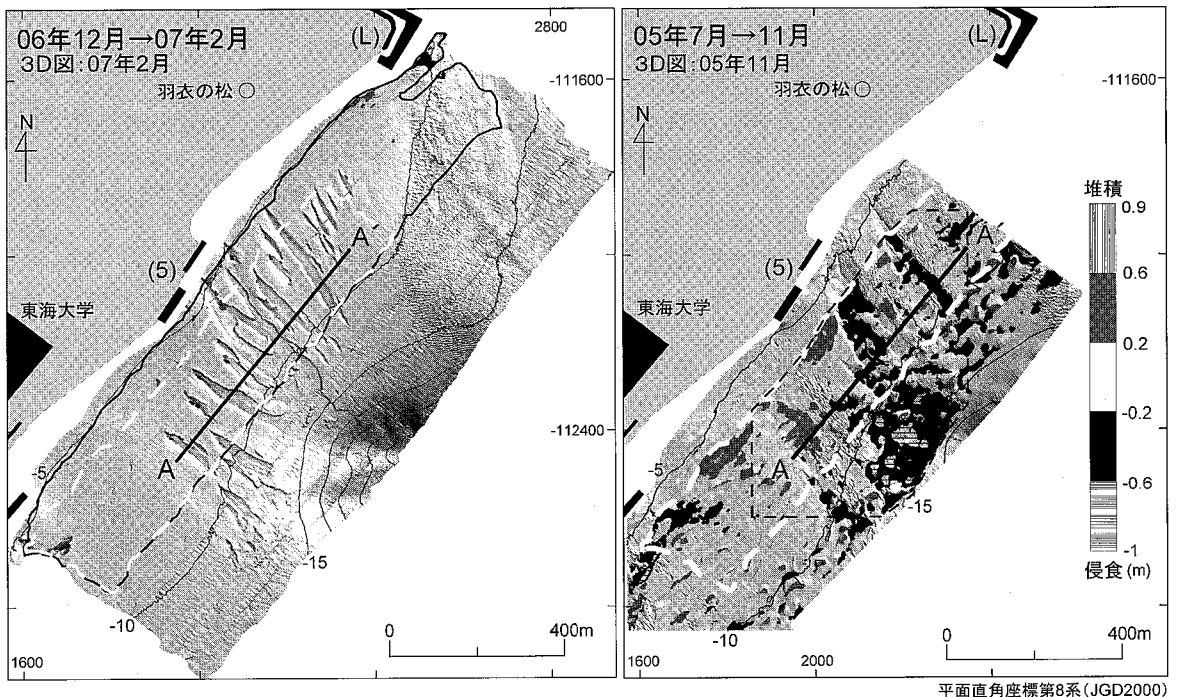


図-5 水深比較図. 図中のAA'は図-6の断面比較位置. 白色の破線は05, 06年度の共通の水深比較が可能な範囲. 左: 06年12月から07年2月の地形変化. 図中の黒枠が06年度の水深比較対象範囲. 右: 05年7月から11月の地形変化. 図中の黒色の破線内が05年度の変化土砂量の算出範囲.

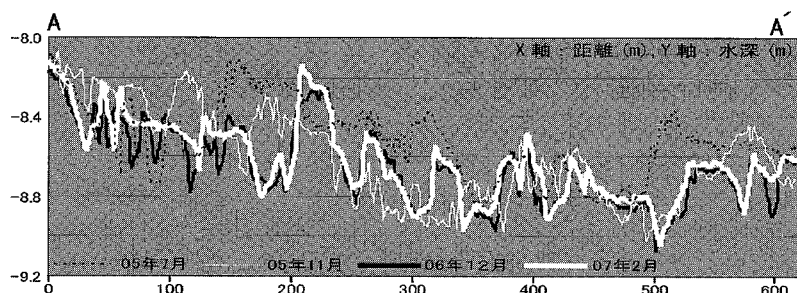


図-6 サンドリッジの断面比較図。断面位置は図-5を参照。

5. 議 論

調査域のように海底谷が陸棚を深く刻む場所では、沿岸漂砂により運ばれた土砂が海底谷をへて、深海へ移動する（根元ほか，1989；宇多ほか，1987，1989；田中ほか，1997；佐藤ほか，1999など）。この沖方向の土砂移動量は沿岸漂砂による土砂供給量との収支を検討する際に重要である。同域に加えて、静岡県駿河海岸や富士海岸、富山湾の下新川海岸などでは、この流出土砂量が沿岸漂砂量や年間養浜量に比べて大きいことから（宇多ほか，1995；佐藤ほか，1999；金澤ほか，2006；吉河・根元，2007など）、海岸から海底までを総合的にみた土砂移動の形態と規模の季節的・定量的な検討が重要といえる。

本域の海岸は夏～秋に多い台風による暴浪時に、離岸堤型ヘッドランド周辺のトンボロ地形を中心に侵食され地形変化は大きい。一方、冬は全般に長周期の高波浪が少ないため地形変化が小さく、トンボロ地形は堆積傾向である（吉河ほか，2006）。海底でも、海岸と同様に大きな地形変化を示すのは冬よりも夏～秋である。つまり、離岸堤型ヘッドランド周辺から海底谷への土砂移動は夏～秋の暴浪時に求められる。

海岸から海底谷方向への土砂移動の要因として、暴浪時に発生する堆積物重力流があげられる（吉河ほか，2006；吉河・根元，2007）。サンドリッジ堆積物の粒度組成が岸側と沖側で変化せず、サンドリッジが海底谷方向へ形成される際に、堆積物の篩い分けが行われていない事や（吉河ほか，2006）、その周囲の水成デューンの分布域が大規模な侵食域であり、サンドリッジとともに海底谷へ続く事、及び、調査域のように海底谷が大陸棚を深く刻む場所では一般的と考えられている事（Normark and Piper, 1991）から、この沖向きの土砂移動はタービディティー・カレントのような重力流による沖方向への堆積物の運搬（mass transportation）といえる（吉河ほか，2006；吉河・根元，2007）。

ヘッドランド区間で毎年実施されている 35000 m³の

養浜のうち、2005年には5800 m³の土砂が5号ヘッドランドの背後に投入された。2005年夏～秋の5号ヘッドランド沖の総変化土砂量は-22000 m³の侵食であり、その背後の海岸では総変化量が-5000 m³の侵食であった。また、同時期のヘッドランド区間の沖、水深10～15 m以浅の海底浸食量の約40%が5号ヘッドランド沖であった。

以上の結果は、海底谷が海岸線に近く陸棚の幅が狭い場所ほど、暴浪時の海底谷方向の土砂移動の規模が大きい事を示している。その移動量（総変化量：22000 m³）は、調査域海岸の変化量と養浜量の約4倍であり、また、ヘッドランド区間の年間養浜量の約60%に相当する。このような夏～秋の暴浪時における海岸線と直交方向の土砂移動が海岸侵食発生機構の一因といえる。

6. ま と め

離岸堤型ヘッドランド周辺から海底谷への土砂移動の形態と規模の季節的な変化の検討を目的に、ナローマルチビーム測深による詳細な海底地形調査を実施し、以下の結果を得た。

- ① 離岸堤型ヘッドランド周辺の水深5 m付近から海底谷の谷頭部（水深約15 m）に向けサンドリッジが多数存在し、最大傾斜方向、つまり谷軸に向け伸びる。サンドリッジ間の凹部には海岸線と平行方向のクレストを持つ水成デューンが分布する。これらの形態から、離岸堤型ヘッドランド周辺から海底谷への土砂移動が存在する。
- ② サンドリッジと水成デューンの分布域における、季節ごとの水深比較と断面比較から、離岸堤型ヘッドランド周辺から海底谷への土砂移動は夏～秋の暴浪時に求められる。その移動量（総変化量：22000 m³）は、同時期の調査域海岸の変化量と養浜量の約4倍にあたる。
- ③ 海底谷方向への土砂移動の要因として、タービディティー・カレントのような暴浪時に発生する重力流による堆積物の運搬があげられ、この夏～秋の暴浪時に

おける海岸線と直交方向の土砂移動が海岸侵食発生機構の一因といえる。

謝辞：東海大学大学院生や東海大学海洋学部学生には現地調査やデータ整理において協力を受けた。静岡県土木部河川海岸整備室の方々には海象計の観測資料を、静岡県静岡土木事務所清水支所の方々には養浜資料等を頂いた。以上の方々に深謝する。

参 考 文 献

- 宇多高明(1997)：日本の海岸侵食，山海堂，p. 442.
- 宇多高明(2004)：海岸侵食の実態と解決策，山海堂，p. 304.
- 宇多高明・堤 博志・小俣 篤・酒井佳治(1987)：海底谷への土砂移動現地調査，海岸工学論文集，34，pp. 307-311.
- 宇多高明・中田定男・小俣 篤(1989)：下新川海岸における海への土砂流出実態，海岸工学論文集，36，pp. 374-378.
- 宇多高明・山本幸次(1991)：複合砂嘴の形成過程に関する実験的研究，地形，12-4，pp. 357-365.
- 宇多高明・鈴木忠彦・山本幸次・板橋直樹(1993)：三保松原の危機的海岸侵食状況，海岸工学論文集，40，pp. 441-445.
- 宇多高明・鈴木忠彦・大石守伸・山本吉道・板橋直樹(1994)：離岸堤群式ヘッドランドの漂砂制御効果の現地実測，海岸工学論文集，41，pp. 581-585.
- 宇多高明・山本幸次・張 達平(1995)：駿河湾湾奥部に位置する富士海岸の海浜変形機構，地形，16-2，pp. 137-155.
- 宇多高明・石井隆・杉山喜一郎・西谷誠・荻原智・芹沢真澄・石川仁憲(2006)：動的平衡海浜に建設されたヘッドランド群の漂砂制御効果の定量的評価，海岸工学論文集，53，pp. 661-665.
- 金澤裕勝・笹倉伸男・中山真二・福濱方哉・山本幸次・橋本新・辺見 聡(2006)：黒部川河口の周辺海域における大規模な土砂崩落の実態，海岸工学論文集，53，pp. 611-615.
- 佐藤 武(1998)：清水市折戸海岸の侵食について—礫・粗粒物質の移動—，東海大学紀要海洋学部，46，pp. 107-117.
- 佐藤慎司・鈴木忠彦・瀬戸緒勝・松浦吉洋・山本吉道・花田昌幸(1999)：清水海岸海底谷周辺の波・流れと漂砂機構，海岸工学論文集，46，pp. 671-675.
- 堆積学研究会(1998)：堆積学辞典，朝倉書店，p. 470.
- 田中茂信・山本幸次・伊藤仁志・有澤俊治・高木利光(1997)：新型トレーサーを用いた富士海岸海底谷への土砂移動機構調査，海岸工学論文集，44，pp. 611-615.
- 根元謙次・伊津信之介・土方 聡・藤井真二・難波文介・滝野義幸(1989)：羽衣沖海底谷—堆積物の流動現象についての地質学的考察，東海大学紀要海洋学部，29，pp. 1-21.
- 増田富士雄・横川美和(1993)：COMBINED-FLOW リップルの形態 (予報)，堆積学研究会報，38，pp. 107-111.
- 横川美和・池原 研(1991)：subaqueous dune(水成デューン)：水流で形成された波長 60 cm 以上のベッドフォームの統一名称，堆積学研究会報，34，pp. 62-64.
- 吉河秀郎・根元謙次・横山心一郎・鬼頭 毅・木村賢史(2006)：三保半島海浜から内側陸棚における碎屑物の移動と堆積，海洋調査技術，18 (1)，pp. 3-15.
- 吉河秀郎・根元謙次(2007)：静岡県三保半島沿岸域の碎屑物移動と海岸侵食について，堆積学研究，64，pp. 131-136.
- Ashley, G. M (1990)：Classification of large-scale subaqueous bedforms：A new look at an old problem, J. Sed. Petrol., 60, 1, pp. 160-172.
- Normark, W. R. and Piper, D. J. W.(1991)：Initiation processes and flow evolution of turbidity currents：Implications for the depositional record, SEPM Spec. Publ., 46, pp. 207-230.