

d_{50} の水深分布から波による地形変化の限界水深を推定する方法

宇多高明*・小菅 晋**・芹沢 真澄***
三波俊郎****・古池 鋼****

1. ま え が き

一般に、波による海底砂の移動限界水深は、個々の砂粒子が移動するかどうかの観点から定められている。近年、筆者らの一人は、このような視点とは別に長期間の測量データに基づく海浜縦断形の変化において、顕著な地形変化が見られなくなる限界の水深を波による地形変化の限界水深と定義し、全国各地の海岸での限界水深値を求めた(宇多, 1997)。この結果、波による地形変化の限界水深は、外海・外洋に面した海岸にあってはほぼ 10 m 程度、比較的波浪が静穏な内湾・内海では数 m であることが明らかにされた。この限界水深は、各種漂砂制御施設の設計において、それらの先端水深を定める上で有効な判断材料となるが、その値を求めるには海浜縦断形の比較を行う必要があることから、一般に少なくとも過去数年間にわたって集積された深淺測量データが必要である。しかし海浜縦断形が経年的に測量されていない場所では各種構造物の設計を行わなければならない場合も多く、この場合別の方法によって限界水深を推定しなければならない。ところで、底質中央粒径 d_{50} の水深分布によれば、汀線付近での粗な粒径が水深の増加とともに減少し、波による地形変化の限界水深付近では 0.2 mm 程度で水深によらず一定となることがいくつかの現地データから明らかにされている。しかしながら、これらについて系統立った検討は行われていない。そこで、本研究では、既発表データに加え、新たに安倍川河口沖での現地観測データを加えてこの点について考察する。

2. 粒径変化の限界水深

筆者の一人(宇多)は、過去数年にわたって現地海岸の海浜変形を調べるとともに、 d_{50} の水深分布を調べてきた。過去に十分細かな精度で粒径の水深分布調査が行われた海岸に、本研究において 1996 年 8 月に底質調査を行った安倍川河口部(静岡海岸)を加えた全国 16 海岸の位置を図-1 に示す。これらの海岸では、いずれの場合も

深淺測量データに基づいた海浜縦断形の変化も調べられており、波による地形変化の限界水深 h_c が求められている。そこで、表-1 には、各海岸ごとに h_c と、それらの根拠となる出典を示す。ここでは、各海岸での d_{50} の水深分布を示すが、個々の分布形の詳細については原論文との重複を避け、できるだけ一般的考察を加える。

以下に述べる現地海岸のデータを比較すると、汀線付近で最大粒径が観察される例が多い。しかし、最大粒径は水深方向にかなり大きな変動を有するので平均化を行

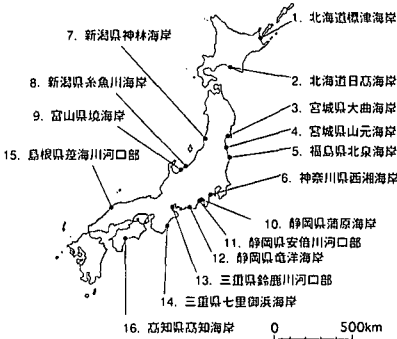


図-1 中央粒径の水深分布の観測された海岸の一覧

表-1 波による地形変化の限界水深 h_c , $\bar{d}_{max}$, タイプ分類, 前浜勾配の一覧

	海岸名	h_c (m)	$\bar{d}_{max}$ (mm)	タイプ 分類	前浜 勾配	h_{mc} (m)	d^* (mm)	出典
1	北海道標津海岸	4	2.0	II	1/8	4	0.15	宇多ら (1991)
2	北海道日高海岸	6	0.95	III	1/40	6	0.10	宇多ら (1991)
3	宮城県大曲海岸	8	0.55	III	1/10	8	0.15	望月ら (1990)
4	宮城県山元海岸	8	0.88	III	1/7	9	0.20	宇多ら (1990)
5	福島県北泉海岸	9	0.24	III	1/25	10	0.15	宇多・野口 (1994)
6	神奈川県西湘海岸	7	11	I	1/10	7	0.20	宇多ら (1997)
7	新潟県神林海岸	7	4.8	II	1/15	6	0.13	宇多・野口 (1994)
8	新潟県糸魚川海岸	8	57	I	—	9	0.18	宇多・野口 (1993)
9	富山県境海岸	8	16	I	1/6	9	0.40	宇多・野口 (1990)
10	静岡県蒲原海岸	10	13	I	1/7	8	0.80	宇多ら (1996)
11	静岡県安倍川河口部	7	42	I	1/10	9	0.25	宇多ら (1997)
12	静岡県竜洋海岸	10	9.7	II	1/13	9	0.20	宇多ら (1994)
13	三重県鈴鹿川河口部	2.5	3.4	II	1/10	2	0.25	宇多・山本 (1989)
14	三重県七里御浜海岸	10	60	I	1/7	7	0.17	宇多ら (1992)
15	島根県笠海川河口部	6	0.40	III	1/20	8	0.20	宇多ら (1995)
16	高知県高知海岸	10	20	I	1/13	10	0.40	Uda et al. (1995)

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川部長
** 正会員 工博 東海大学海洋学部海洋土木工学科教授
*** 正会員 海岸研究室(有)
**** 海岸研究室(有)

うこととし、上位3位の d_{50} を平均して平均最大粒径 $\bar{d}_{\max}$ とすると、 d_{50} の水深分布は $\bar{d}_{\max}$ に応じて3タイプに分類される。タイプIは $10\text{ mm} \leq \bar{d}_{\max}$ であって、汀線付近が粒径の大きな礫で構成される海岸である。タイプIIは $1 \leq \bar{d}_{\max} < 10\text{ mm}$ であって、海浜が砂または礫で構成されるタイプである。そしてタイプIIIは、 $\bar{d}_{\max} < 1\text{ mm}$ であって、汀線付近の海浜構成材料が細砂の場合である。以下では各タイプごとに整理して特徴を述べるとともに、表-1には $\bar{d}_{\max}$ とタイプ分類を一括して示す。あわせて表-1には前浜勾配も示すが、 $\bar{d}_{\max}$ と前浜勾配の間には相関がみられ、タイプIでは前浜勾配が相対的に急、タイプIIIは相対的に緩勾配、そしてタイプIIはそれらの中間の値を有している。

2.1 タイプI (7海岸)

タイプIに属する海岸は、太平洋側にあつては、急深な相模湾(西部)や駿河湾に面した西湘海岸、蒲原海岸、安倍川河口(静岡海岸)があげられる。また、三重県の七里御浜海岸、高知県の高知海岸もこの範疇に入る。一方、日本海側にあつては、新潟県の糸魚川海岸や富山県の境海岸がこれに属する。

図-2には西湘海岸の d_{50} の分布(宇多ら, 1997)を示す。汀線付近での大粒径は水深とともに急激に減少し、-7 m付近からは0.25 mmとなり、それ以深では0.15~0.25 mmで水深方向の変化は明らかに小さくなる。すなわち、この海岸では-7 m以浅で d_{50} が急激に増大することに特徴がある。そこで、汀線付近での粗な粒径が水深の増加とともに減少し、 d_{50} が0.2 mm程度で水深によらずほぼ一定となる限界の水深を粒径変化の限界水深 h_{mc} と呼ぶと、この海岸では $h_{mc} = -7\text{ m}$ となる。

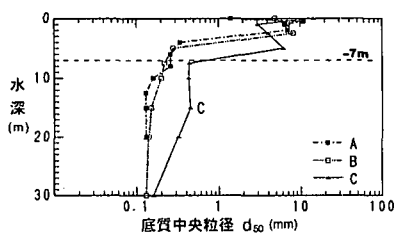


図-2 神奈川県西湘海岸における d_{50} の水深分布

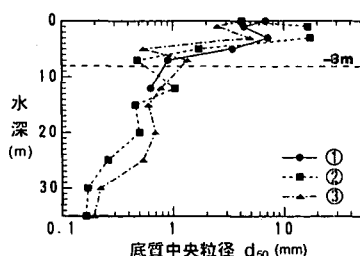


図-3 静岡県蒲原海岸における d_{50} の水深分布

図-3に示す蒲原海岸の d_{50} の水深分布(宇多ら, 1996)は、西湘海岸の場合と非常によく似ており、-6 m以浅で大粒径が現れるが、-8 m付近からは約0.8 mmとなり、それ以浅と比べて d_{50} の変動量は小さくなる。このことからここでは h_{mc} はほぼ-8 mにある。図-4に示す安倍川河口部では h_{mc} はほぼ-9 mにあり、汀線付近で粗い粒径が現れている点は、蒲原海岸の場合と同様である。図-5に示す七里御浜海岸(宇多ら, 1992)では、以上の場合と異なり、ある水深まで d_{50} は水深とともに小さくならずほぼ一定値の周りで変動するが、そこから急激に減少して約0.17 mmの一定値となる。 h_{mc} は測線によってかなり異なるが、これは汀線付近から急勾配で落ち込んだ海底面が平坦面になる位置が沿岸方向に変化しているためである。ここでは測線ごとに h_{mc} は異なるが、その変化傾向からNo.1では-4 m、No.2では-7 mと推定される。図-6に示す高知海岸(Uda et al., 1995)では、最大粒径は汀線付近ではなく、-5 m付近に現れている。-5~-10 mの間にデータがないので明確には言え

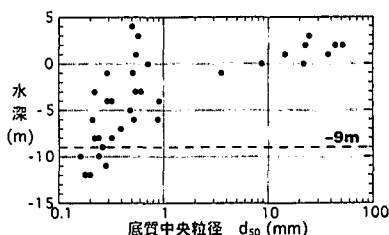


図-4 静岡県安倍川河口部における d_{50} の水深分布

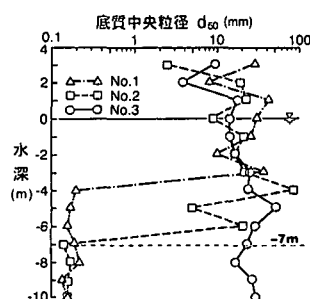


図-5 三重県七里御浜海岸における d_{50} の水深分布

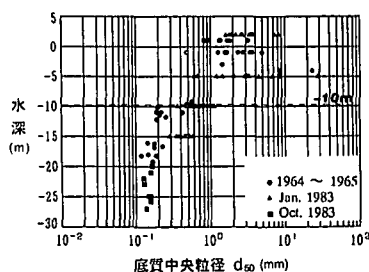


図-6 高知県高知海岸における d_{50} の水深分布

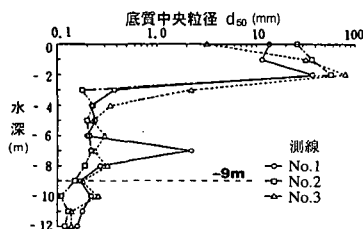


図-7 新潟県糸魚川海岸における d_{50} の水深分布

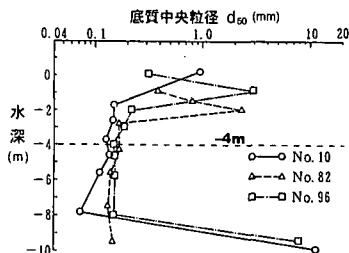


図-9 北海道標津海岸における d_{50} の水深分布

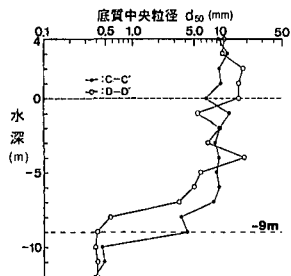


図-8 富山県境海岸における d_{50} の水深分布

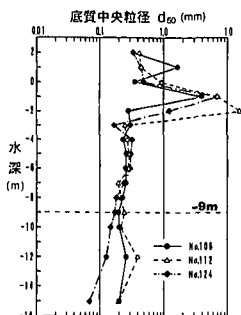


図-10 静岡県竜洋海岸における d_{50} の水深分布

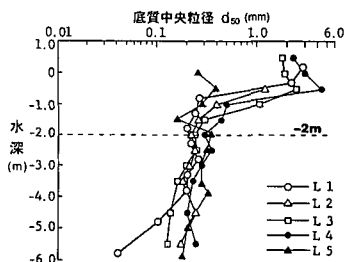


図-11 三重県鈴鹿川河口部における d_{50} の水深分布

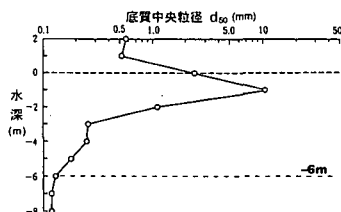


図-12 新潟県神林海岸における d_{50} の水深分布

ないが、 d_{50} は、 -10 m まで著しく減少し、 -10 m では約 0.4 mm となって、それ以深では水深による変化量が小さくなる。したがって h_{mc} はほぼ -10 m 程度である。

図-7 に示す新潟県の糸魚川海岸 (宇多・野口, 1993) では、 -2 m 付近で 80 mm と非常に大きな礫が現れているが、 d_{50} は水深方向に大きく減少したのち、多少の変動を有するものの、 $h_{mc} = -9$ m 以深では 0.2 mm 程度で水深によらずほぼ一定値となる。図-8 に示す富山県の境海岸 (宇多・野口, 1990) の d_{50} の分布は、図-5 に示した七里御浜海岸の場合と非常によく似ており、ある水深まで大粒径を保ったあと、ほぼ $h_{mc} = -9$ m からは 0.4 mm と水深によらずほぼ一定の粒径となる。

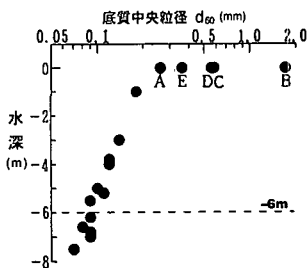
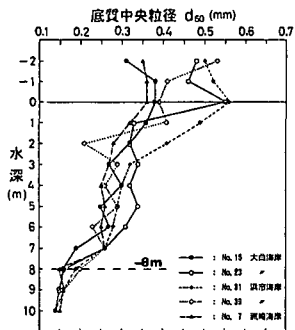
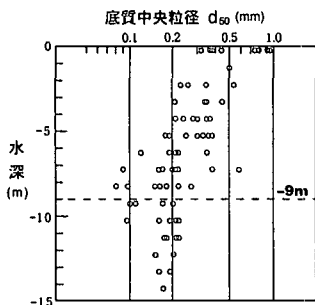
2.2 タイプ II (4 海岸)

$1 \leq \bar{d}_{max} < 10$ mm を満足する条件であるタイプ II に属する海岸は、北海道東部の標津海岸、太平洋に面した天竜川河口の東側に伸びる竜洋海岸、伊勢湾に面した鈴鹿川河口部、さらには日本海側の新潟県神林海岸があげられる。まず、図-9 は標津海岸の d_{50} の水深分布である (宇多ら, 1991)。汀線付近で大粒径が現れたあと d_{50} は水深方向に減少し、 -9 m 付近の特異なデータを除けば、 -4 m 以深で d_{50} はほぼ一定となる。これより $h_{mc} = -4$ m とおける。図-10 は、竜洋海岸の d_{50} である (宇多ら, 1994)。ここでは -3 m 付近まで粗い粒径が現れたあと、緩やかに減少し、 $h_{mc} = -9$ m 以深では水深によらずほぼ一定の 0.2 mm 程度となる。図-11 は、伊勢湾に面した鈴鹿川河口部での d_{50} の分布である (宇多・山本, 1989)。ここでも汀線付近で最大粒径が出現するが、水深とともに急激に減少し、 $h_{mc} = -2$ m 以深ではほぼ水深によらず一定の

0.25 mm となる。図-12 に示す神林海岸 (宇多・野口, 1991) ではデータ量がやや少ないものの、 $h_{mc} = -6$ m 以深ではほぼ 0.15 mm の一定粒径となる。

2.3 タイプ III (5 海岸)

$\bar{d}_{max} < 1$ mm を満足する条件であるタイプ III は、太平洋側にあっては、日高海岸、仙台北部の大曲海岸、仙台南部の山元海岸、福島県の北泉海岸があり、日本海側では大社湾に面した差海川河口部の例がこれに属する。まず、図-13 は日高海岸の門別漁港周辺での d_{50} の分

図-13 北海道日高海岸における d_{50} の水深分布図-14 宮城県大曲海岸における d_{50} の水深分布図-15 宮城県山元海岸における d_{50} の水深分布

布 (宇多ら, 1991) である。図中の A~D は防波堤を挟んで汀線沿いに測定された値である。汀線では d_{50} が大きい, 水深とともに減少し, -6 m 付近では水深によらずほぼ 0.1 mm の一定値となる。これより h_{mc} は -6 m に等しい。図-14 は, 宮城県の大曲海岸での d_{50} の水深分布である (望月ら, 1990)。この場合も汀線付近は 0.4 mm 程度の値を有するが, d_{50} は深さ方向に減少し, -8 m 以深では水深によらずほぼ一定の 0.15 mm となる。このことから, h_{mc} は -8 m にあると言える。同じく図-15 は, 宮城県の山元海岸における d_{50} の水深分布 (宇多ら, 1990) である。この場合粒径の変動はかなりあるが, h_{mc} はほぼ -9 m にある。図-16 に示す福島県の北泉海岸 (宇多・野口, 1994) では, ほぼ -10 m 以深では 0.15 mm 程度の粒径となり, 水深によらない値を有している。したがって, ここでは h_{mc} はほぼ -10 m にある。最後に

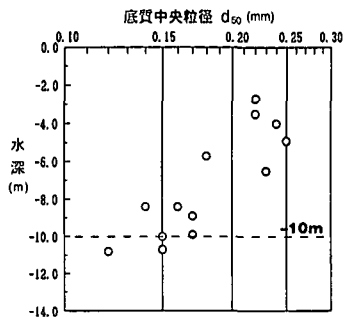
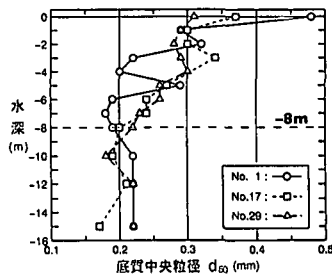
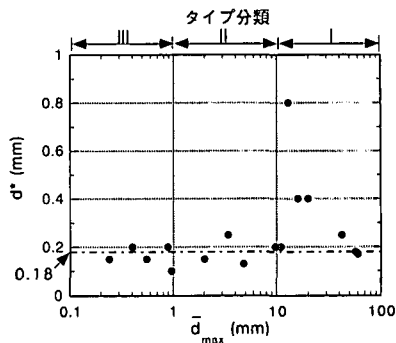
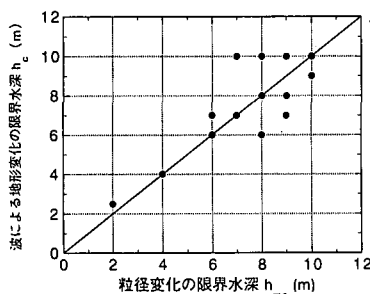
図-16 福島県北泉海岸における d_{50} の水深分布図-17 島根県差海川河口部における d_{50} の水深分布

図-17 に示す島根県の差海川河口部では (宇多ら, 1995), d_{50} は汀線付近よりなだらかに減少し, ほぼ $h_{mc} = -8\text{ m}$ で 0.2 mm の一定値となる。以上各海岸ごとに定められた h_{mc} を表-1 にまとめて示す。さらに, 以上のデータによれば, d_{50} は h_{mc} より深い場所では, 水深への依存度が減り, ほぼ一定値を示す。そこで, この限界の粒径を d^* として表-1 に一括して示す。

3. 考 察

表-1 に示したいくつかのパラメータの相互関係について調べてみる。まず, 図-18 には $\bar{d}_{max}$ と d^* の関係を示す。これによれば, d^* は $\bar{d}_{max}$ が 10 mm より小さいタイプ II, III の場合には $\bar{d}_{max}$ によらずほぼ一定の 0.18 mm となる。またタイプ I の場合には変動が大きくなり,

図-18 $\bar{d}_{max}$ と d^* の関係



図一19 波による地形変化の限界水深と粒径変化の限界水深の関係

全体の平均値は約 0.4 mm 程度であるが、この場合下限値はタイプII, IIIの場合と同様 0.18 mm にある。このことは、タイプII, IIIの海岸にあっては、ほぼ 0.18 mm を限界粒径と見なし、 d_{50} の水深分布においてそれに対応する水深を読み取れば限界水深が推定できることを意味する。また、いずれのタイプの海岸においても、限界水深より深い部分の粒径がほぼ 0.2 mm 以下である点は、この海域の底質が波や流れの作用によって広く拡散して堆積した土砂で占められていることを意味している。ただし、タイプIの海岸や海底谷の発達する海岸では汀線付近の土砂の落ち込みがあるために、深い部分にまで粒径の大きな底質が現れると考えられる。

表一1に示した波による地形変化の限界水深 h_c と、ここで得られた粒径変化の限界水深 h_{mc} との関係を図一19に示す。 h_c と h_{mc} の間にはほぼ1対1の関係が成立していることが分かる。このことは、底質調査により d_{50} の水深方向分布を求めることによって、粒径変化の限界水深を定めることができれば、これより波による地形変化の限界水深が推定できることを示している。また、本研究で示した d_{50} の水深分布は、ある一本の測線上に沿って観測船を高精度で走行させて求めたものではなく、任意の平面位置において、底質採取を行った測定点の水深さえ明らかになれば分布形が描けることから、波による地形変化の限界水深の算定のための簡易手法として利用可能である。この方法によれば多少推定精度は低くても、経年的な深浅測量を行わずとも波による地形変化の限界水深の推定が可能となる。

また、筆者らは等深線変化モデルの開発を進めてきているが、等深線変化モデルでは沿岸漂砂量の水深方向分布を定めており、その限界は h_c で与えている。したがって、以上の結果は、沿岸漂砂により活発な地形変化が生じている範囲では粒径の大きい範囲と重なっていると言える。

4. ま と め

$\bar{d}_{max}$ が 10 mm より小さい場合、 d_{50} の水深分布におい

て d_{50} が汀線付近の粗な粒径から水深方向に減少し、水深によらずほぼ 0.2 mm 程度の一定粒径となる水深（粒径変化の限界水深）を求めれば、この値が波による地形変化の限界水深と比例関係にあることから、波による地形変化の限界水深の推定が可能である。一方、 $\bar{d}_{max}$ が 10 mm より大きい場合にも、 d_{50} の水深分布において d_{50} が汀線付近の粗な粒径から水深方向に大きく減少し、水深によらないほぼ一定の粒径となる水深を同様に求めて、これを粒径変化の限界水深とすれば、 d_{50} が 10 mm より小さい場合と同様に波による地形変化の限界水深を推定できる。

参 考 文 献

- 宇多高明 (1997): 日本の海岸侵食, 山海堂, 460 p.
- 宇多高明・小俣 篤・峯松麻成 (1990): 仙台湾沿岸における砂浜消失の危機, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 479-483.
- 宇多高明・加藤憲一・山形 宙 (1996): 底質粒径集団の変化からみた海底谷への土砂流出実態調査, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 591-595.
- 宇多高明・北上勝彦・山本幸次・河野茂樹 (1991): 北海道, 日高沿岸における海浜変形, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 276-280.
- 宇多高明・後藤康長・山本幸二 (1992): 三重県七里御浜海岸の海浜変形機構に関する一考察, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 351-355.
- 宇多高明・鈴木忠彦・大石守伸・山本雅彦・大谷靖郎 (1994): 竜洋海岸の侵食実態と河口テラスの縮小の影響, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 476-480.
- 宇多高明・高橋 豊・青木 豊・加藤憲一 (1997): 西湘海岸の海浜堆積物の分布特性一森戸川河口沖の海底谷周辺に着目して一, 地形, Vol. 17, pp.
- 宇多高明・野口賢二 (1990): 富山県東部宮崎・境海岸における海浜変形の実態, 地形, Vol. 11, pp. 337-347.
- 宇多高明・野口賢二 (1991): 新潟県北部, 岩船港周辺における海浜地形変化, 土木技術資料, Vol. 33, No. 11, pp. 28-33.
- 宇多高明・野口賢二 (1993): 糸魚川・青海海岸における海浜変形, 土木技術資料, Vol. 35, No. 7, pp. 31-36.
- 宇多高明・野口賢二 (1994): 防波堤による沿岸漂砂の阻止と海食崖からの土砂供給の減少とに起因する海岸侵食一福島県北部～宮城県南部の例一, 地形, Vol. 15, pp. 129-144.
- 宇多高明・野津 達・大谷靖郎・草地俊英 (1995): 島根県荒海川河口周辺における海浜変形と河口処理, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 561-565.
- 宇多高明・山本幸二 (1989): 鈴鹿川河口周辺海岸における沿岸漂砂量と漂砂の移動高, 地形, Vol. 10, pp. 113-119.
- 宇多高明・山本幸次・河野茂樹 (1991): 北海道標津海岸の侵食実態, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 286-290.
- 宇多高明・山本吉道・板橋直樹・山路佑祐 (1997): 静岡海岸で観測された Sand body の移動とその発生機構, 土木学会論文集, No. 558/II-38, pp. 113-128.
- 望月倫也・宇多高明・大類光男・大谷靖郎 (1990): 仙台湾北部沿岸の海浜変形の実態, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 369-373.
- Uda, T., A. Takahashi and M. Fujii (1995): Bar topography changes associated with a dredged hole off the Niyodo River mouth, Coastal Eng. Japan, Vol. 38, No. 1, pp. 63-88.