

土 木 研 究 所 資 料

透過式消波構造物の設置に
伴う沖合海底地形の変化機
構に関する実験的研究

平成2年8月

建設省土木研究所
河川部海岸研究室

「Copyright ©(1989) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

透過式消波構造物の設置に伴う沖合海底地形の変化機構に関する実験的研究

建設省土木研究所 海岸研究室 室 長 宇多 高明
研究員 小俣 篤
部外研究員 峯松 麻成

要 旨

透過式消波構造物の設置に伴う沖合海底地形の変化機構を水理模型実験により調べた。実験によると、構造物の沖合における地形変化は、反射率および入射波高に応じてN-タイプあるいはL-タイプに分類された。また、構造物の近傍では上記の地形変化に局所洗掘が重なることが新たに見出された。また、構造物から沖合約半波長までの区間の浮遊砂濃度は、波動運動による底質の浮遊と、構造物直下より浮遊した底質が構造物より発生した乱れにより拡散される現象とに支配されることが分かった。そこで、これら両者を取り込んだ地形変化モデルを作成した。このモデルによれば、入射波高、反射率ともに高いケースを除けば、実験で得られた地形変化の傾向を良好に再現することができた。

キーワード：透過式消波構造物，水理模型実験，部分重複波，浮遊砂濃度，地形変化機構，洗掘，
地形変化予測モデル

目 次

第1章	まえがき	1
第2章	実験方法	2
2.1	実験の位置付け	2
2.2	底質の選定	3
2.3	実験装置および測定項目	3
第3章	地形変化の特性	8
3.1	底質に砂を用いた実験の地形変化特性	8
3.2	底質に石炭粉を用いた実験の地形変化特性	19
第4章	地形変化の要因	23
4.1	浮遊砂濃度の鉛直分布	23
4.2	底面付近の流速振幅と浮遊砂濃度の関係	30
4.3	平均流速および漂砂量の鉛直分布	37
4.4	構造物により発生する乱れの分布	44
4.5	地形変化機構に関する考察	44
第5章	地形変化予測モデルの開発	46
5.1	地形変化予測モデル	46
5.2	計算値と実験値との比較	51
5.3	モデルの問題点と今後の検討課題	51
第6章	結論	57
	参考文献	58

1. まえがき

沖合に設置された消波構造物周辺の海底地形変化に関しては、従来、防波堤沖の洗掘の問題に焦点が当てられてきた。野田（1970）は、重複波の場合における質量輸送速度の分布と地形変化の関係を論じた。また、入江ら（1984）は、底質の浮遊状態に着目し、沈降速度と進行波の底面流速振幅の比により地形変化パターンを分類した。これらは、Carter et al.（1973）が底面質量輸送速度の岸沖分布と地形変化とを関係付けた手法と同様な考えに立つ。一方、水口ら（1985）、西沢・沢本（1989）は杭周辺の局所洗掘に関して、小口径の杭周りに生じる洗掘について調べるとともにそのパターン分類を行った。しかし、これらの研究では杭周りの地形変化を予測するまでには至っていない。

筆者らは、ジャケット型の群杭構造物および透過性消波構造物周辺の地形変化について現地観測を行い、それらの構造物周辺で大規模な地形変化が生じていることを報告した（宇多ら，1988；1989）。これらの地形変化はその規模からみて反射波の影響により生じたと考えられ、野田、入江らの研究で扱われているタイプの地形変化と推定される。しかし、構造物の延長が短く、反射率が低いことから地形変化パターンが明瞭ではなく、このため構造物周辺での地形変化の機構は十分に明らかにできていない。本研究では、透過性消波構造物の設置に伴う沖合海底地形の変化を移動床水理模型実験により検討し、その変化機構を明らかにする。さらに、海底地形変化の予測モデルの開発を行う。

2. 実験方法

2.1 実験の位置付け

駿河湾に面した駿河海岸では、近年有脚式の新型離岸堤の建設が進められている(浦田ら, 1989)。この離岸堤は元々緩勾配の海底面上に設置されたが、離岸堤設置後、離岸堤を中心として直径約50mの範囲で円錐状の洗掘が生じ、離岸堤直下の洗掘深は約2mに達した(図-2.1, 宇多ら, 1989)。本研究はこの種の地形変化の機構を明らかにすることを目的としている。したがって、実験的研究を始める前に、この構造物周辺の地形変化について多少の検討を試みた。例えば、離岸堤の中央($Y=180\text{m}$)を横切る岸沖方向測線に沿う海底地形の変化を図-2.2に示す。 ΔZ は1987年9月7日の測量断面形を基準とした地盤高の変化量である。この離岸堤は1987年より経年的に建設が進められており、観測時における堤長は約40mであった。離岸堤より沖合では全体的に地盤が低下しているが、 $X \geq 30\text{m}$ では6月1日以降の地形変化量は小さい。8月6日と10月4日の断面形を比較すると、構造物近傍では洗掘され、 $10 \leq X \leq 25\text{m}$ で堆積、 $X > 25\text{m}$ では侵食が起きている。 $10 \leq X \leq 25\text{m}$ の範囲での堆積は土砂収支関係より判断して構造物近傍で洗掘された底質が堆積して生じたと考えられる。また、当海岸では周期8~10秒の入射波浪が卓越し、離岸堤位置での波長は約80mであることから、 $X=20\text{m}$ 付近は部分重複波の節に当たる。したがって、節の位置に堆積するN-タイプの地形変化(入江ら, 1984)が生じた可能性がある。さらに図-2.1に示したように離岸堤を中心としてすりばち状の深みが存在することは、離岸堤からの反射波が放射状に広がって形成された部分重複波により地形変化が生じた

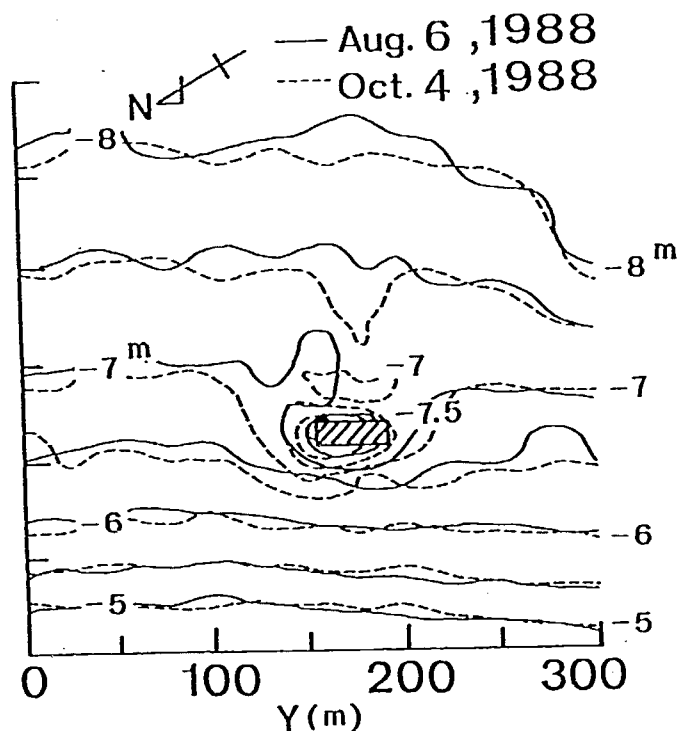


図-2.1 新型離岸堤周辺の深浅図(1988年8月6日と10月4日)

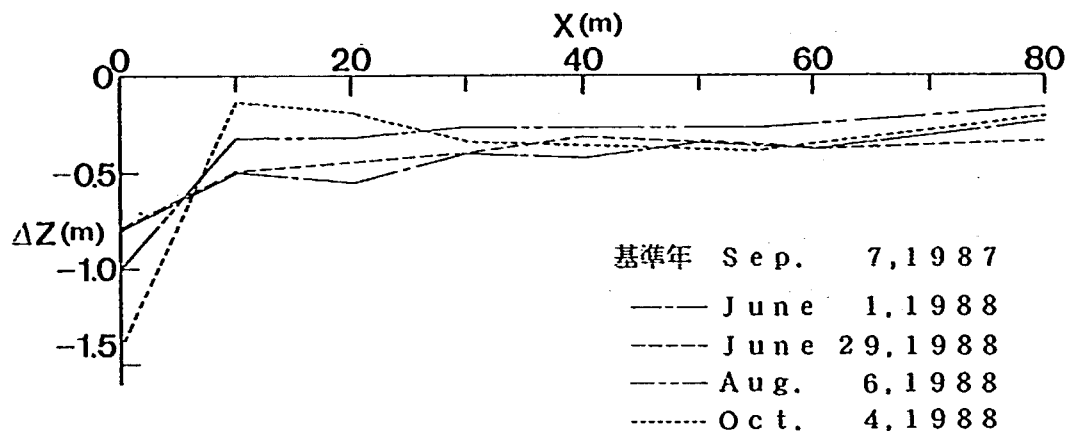


図-2.2 新型離岸堤沖の地形変化量の岸沖分布

ことを示唆する。

以上の点から判断すると、この離岸堤は反射率が低いため重複波による地形変化パターンが必ずしも明瞭な形で表われてはいないものの、局所洗掘に加えて部分重複波に起因する地形変化が生じたことが示唆される。そこで、実験は透過性消波構造物の沖合で部分重複波が生じる状況を対象とし、駿河海岸の新型離岸堤を想定して地形条件、波浪条件、模型条件を設定した。

2.2 底質の選定

移動床実験では底質の選定が重要である。ここでは、底質の浮遊状況を現地と同様にするために、入江ら(1984)にならい、進行波の底面流速振幅 $\hat{U}b$ と底質の沈降速度 w_0 の比($\hat{U}b/w_0$)を現地条件と等しくするよう底質を選定した。駿河海岸の構造物設置地点における $\hat{U}b/w_0$ はほぼ10~31である。実験水路では入射波高 H が最大で15cm程度に制約されることから、底質には中央粒径 $d_{50}=0.15\text{mm}$ 、密度 $\rho_s=2.65\text{g/cm}^3$ の山形県産の珪砂、および中央粒径 $d_{50}=0.24\text{mm}$ 、密度 $\rho_s=1.60\text{g/cm}^3$ の石炭粉を用いた。両底質のふるい分け試験結果を図-2.3に示す。これらの底質を用いることにより $\hat{U}b/w_0=10\sim16$ となり、現地の高波浪条件を除いてほぼ同様の条件とすることができる(表-2.1参照)。

2.3 実験装置および測定項目

実験には片面ガラス張りの長さ142m、幅0.6mの造波水路を用いた(図-2.4)。沖合の平坦部の水深を1.2mとし、水路途中から1/50勾配の木製斜面を設置し、水深70cmの位置から水平床とした。長さ12mの水平床部分を厚さ30cmの移動床とし、移動床の沖端から10mの位置に構造物模型を設置した。また、水平床部分を仕切板により2等分し(図-2.4参照)、模型からの反射が水路幅の半分のみで生じるようにすることにより、多重反射を緩和した。

実験の対象とする消波構造物の模型は縦スリットとし、角材を用いて製作した(図-2.5)。縦スリットの空隙率は、実験に用いる波浪条件の下で反射率が0.7および0.3となるよう調整し、天端高は越波が生じないよう十分に高くした。また、水理条件はフルードの相似則に従うこととし、縮尺を1/10に想定した。駿河海岸での構造物設置水深は7mであることから模型設置水深は70cmとした。

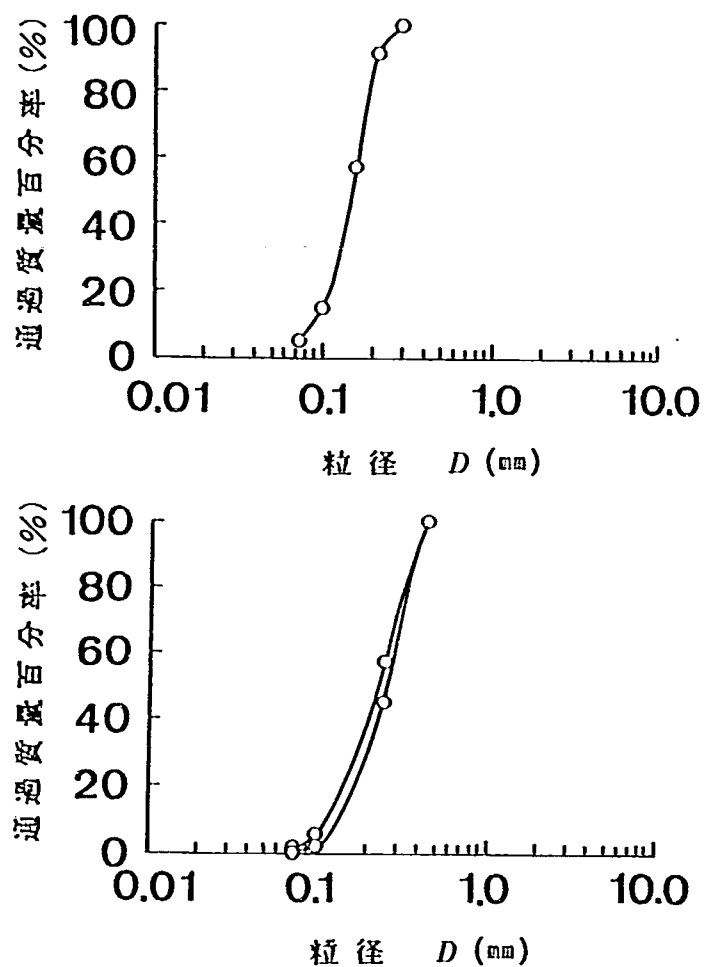


図-2.3 実験に用いた底質材料の粒度分布

表-2.1 現地と実験の底質条件の比較

	底質	d_{50} (mm)	s	w_0^* (cm/s)	$\hat{U}_b/w_0$	波浪条件 H (m), T (sec)	$\hat{U}_b$ (m/s)
駿河海岸	砂	0.20	2.65	2.53	10 ~31	$H=0.5\sim1.5$ $T=8.0\sim9.0$	0.25 ~0.78
実験	砂	0.15	2.65	1.68	10 ~14	$H=0.1\sim0.15$ $T=2.5\sim2.8$	0.16 ~0.24
	石炭粉	0.24	1.60	1.46	11 ~16	$H=0.1\sim0.15$ $T=2.5\sim2.8$	0.16 ~0.24

*Rubbyの式による

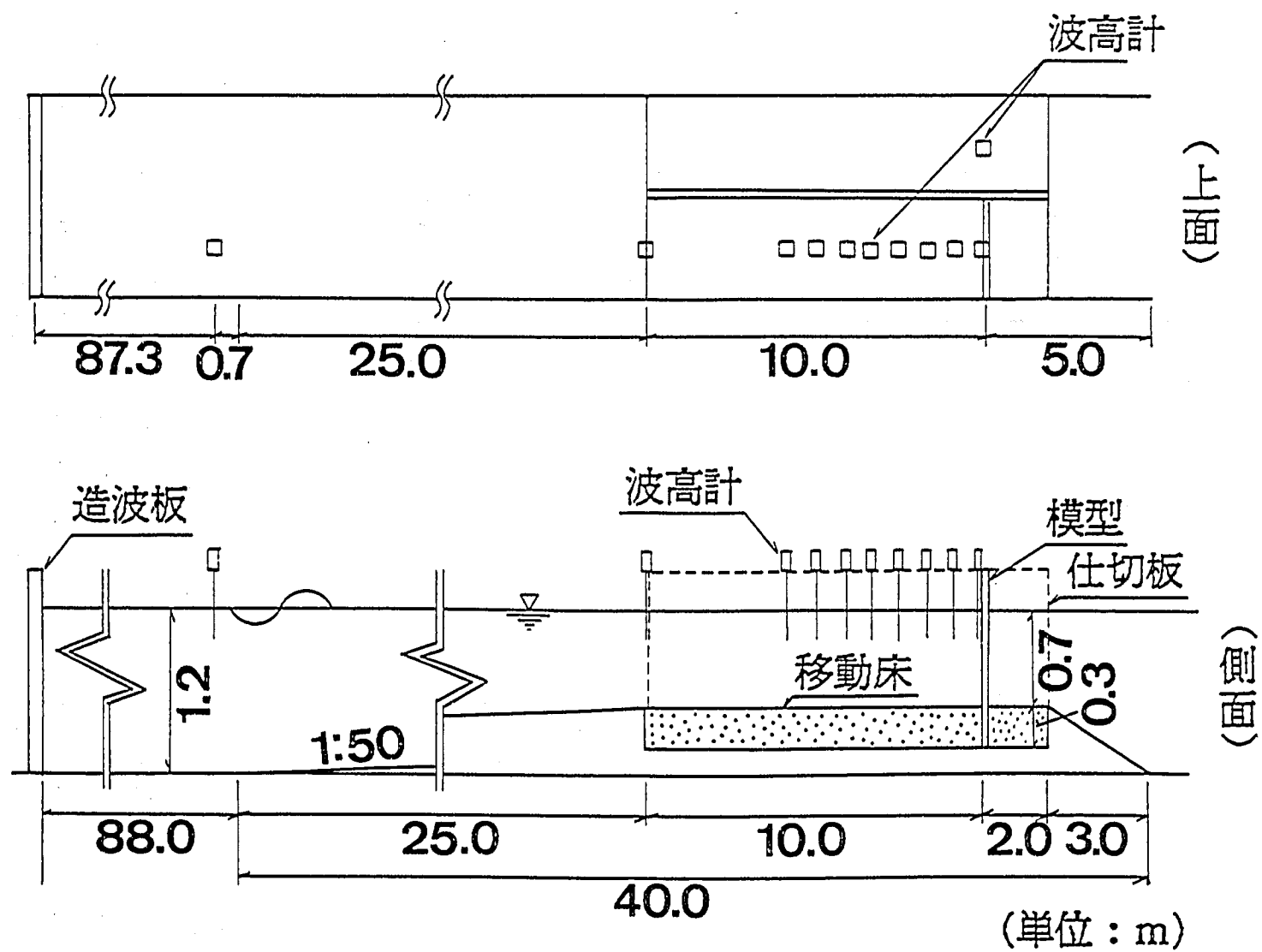


図-2.4 実験装置

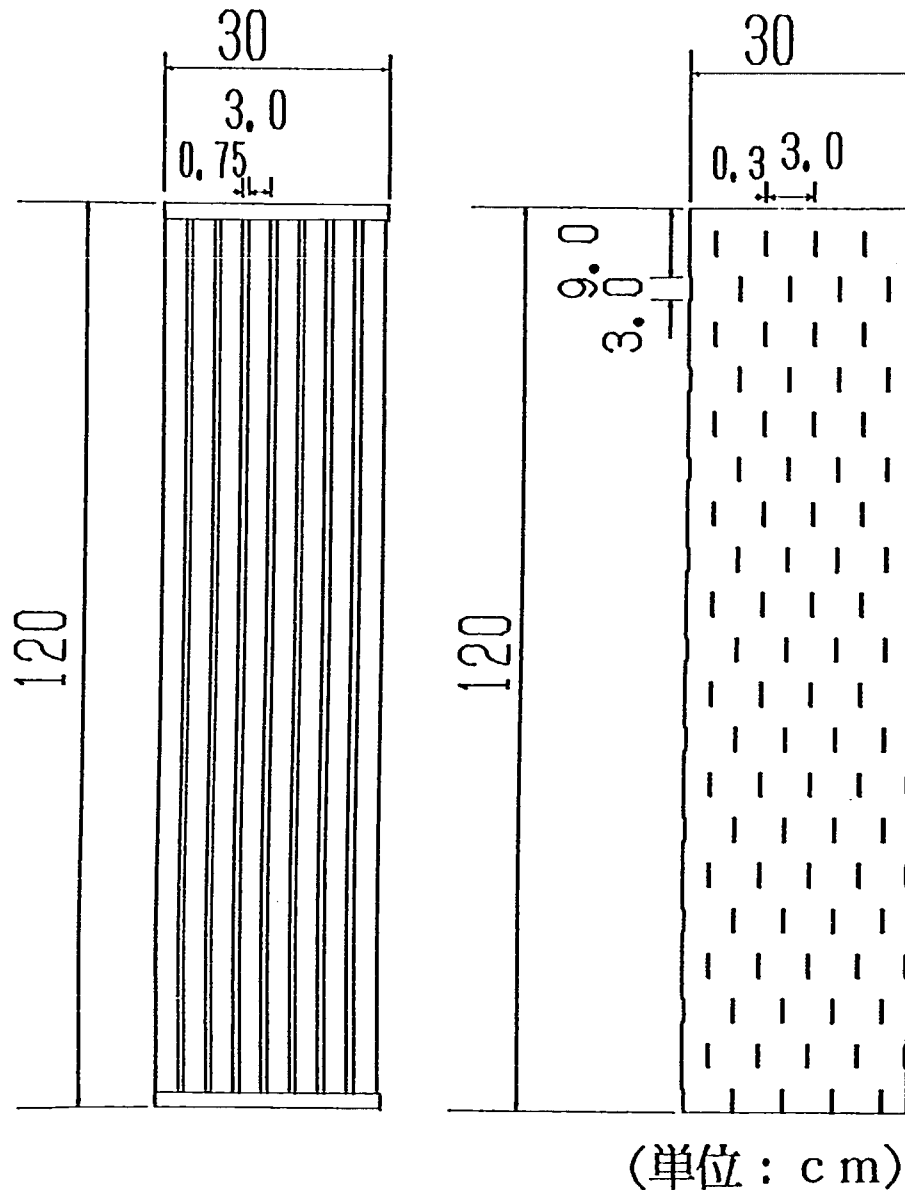


図-2.5 スリット構造物模型

現地の波浪条件は有義波高0.5～1.5m，周期8～9sにあるので，実験では表-2.2に示す2種類の波浪を設定し，模型の空隙率と底質をそれぞれ2種類として全体で6ケースの実験を行った。

実験では地形変化，波高，浮遊砂濃度，流速分布を測定した。また，波浪は底質を平坦に敷均した後，地形変化が安定するまで20または23時間作用させた。地形は波を作用させてから1，5時間後および最終の3回，側壁と仕切板の中央測線上を5cm間隔で測定した。波高，浮遊砂濃度，流速の測定にはそれぞれ容量式波高計，光学式濁度計，超音波式流速計を用い，波を5時間作用させた時点で測定した。浮遊砂濃度，流速は構造物位置とその沖の最初の腹の間に7本の鉛直測線を設け（図-2.6参照），底面上の10測点で測定した。サンプリング間隔は50msとし，各測点ごとに7，8波分のデータを取得した。また，反射率はHealyの方法により求めた。

表-2.2 実験条件

ケース No	底質	波浪条件		反射率	空隙率
		H (cm)	T (sec)	K _r	ε
1	砂 d ₅₀ =0.15mm s=2.65g/cm ³	10.0	2.80	0.73	0.025
2		15.0	2.50	0.67	0.025
3		10.0	2.80	0.29	0.20
4		15.0	2.50	0.30	0.20
5	石炭粉 d ₅₀ =0.24mm s=1.60g/cm ³	10.0	2.80	0.73	0.025
6		15.0	2.50	0.67	0.025

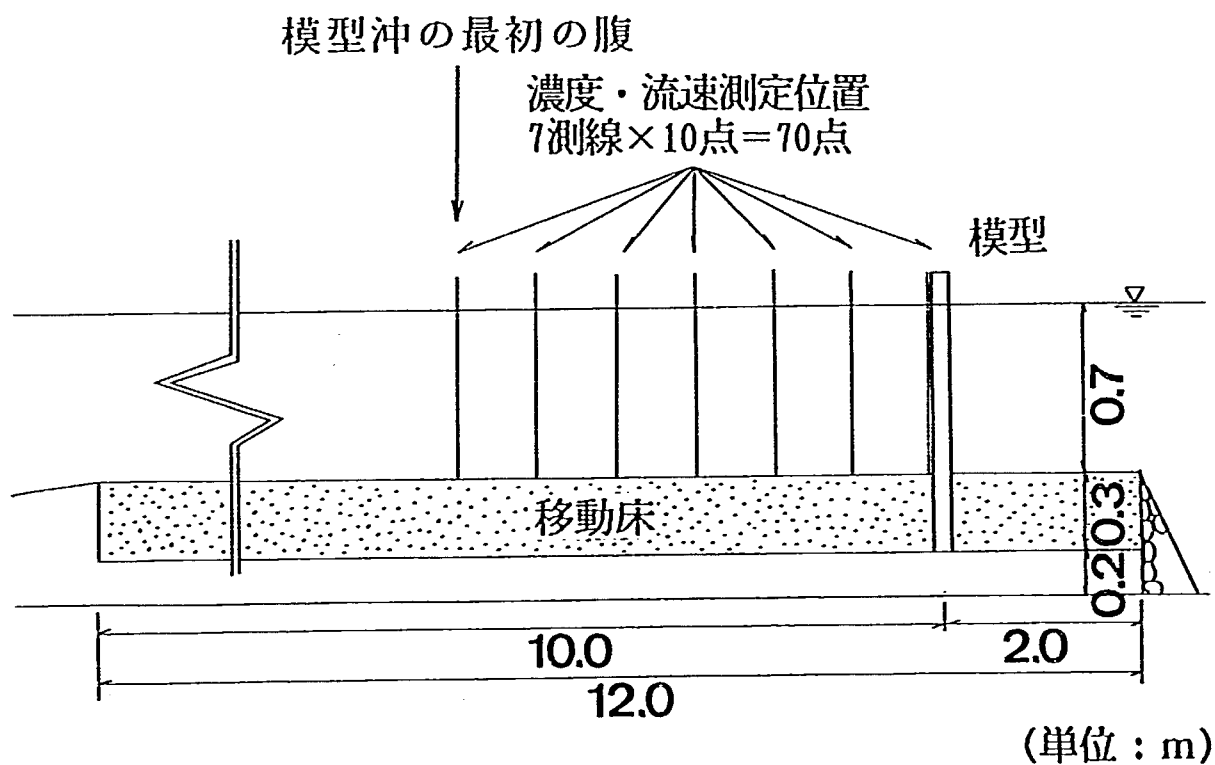


図-2.6 浮遊砂濃度，流速の測定位置

3. 地形変化の特性

3. 1 底質に砂を用いた実験の地形変化特性

ケース1の断面形の変化を図-3. 1に、また実験状況を写真-3. 1に示す。断面図に見られる波長10~20cmの小起伏は砂澁を表わしている。地形変化は、1時間、5時間と徐々に進行しており、最終の23時間ではほぼ安定した断面形となった。入江ら(1984)は重複波による地形変化のタイプを、腹(node)と節(loop)の中間が侵食され、節に堆積し腹ではあまり変化の生じないN-タイプと、節の部分が侵食され腹に堆積するL-タイプに分類した。ケース1は、構造物近くを除くと節と腹の中間が侵食され、節付近で堆積が生じていること、また腹ではやや堆積していることからN-タイプの地形変化と考えられる。また、写真-3. 1によれば、構造物の沖側ごく近傍では局所洗掘により地盤高がかなり低下している状況が見られる。したがって、構造物近くでは局所洗掘とN-タイプの地形変化が重合している。

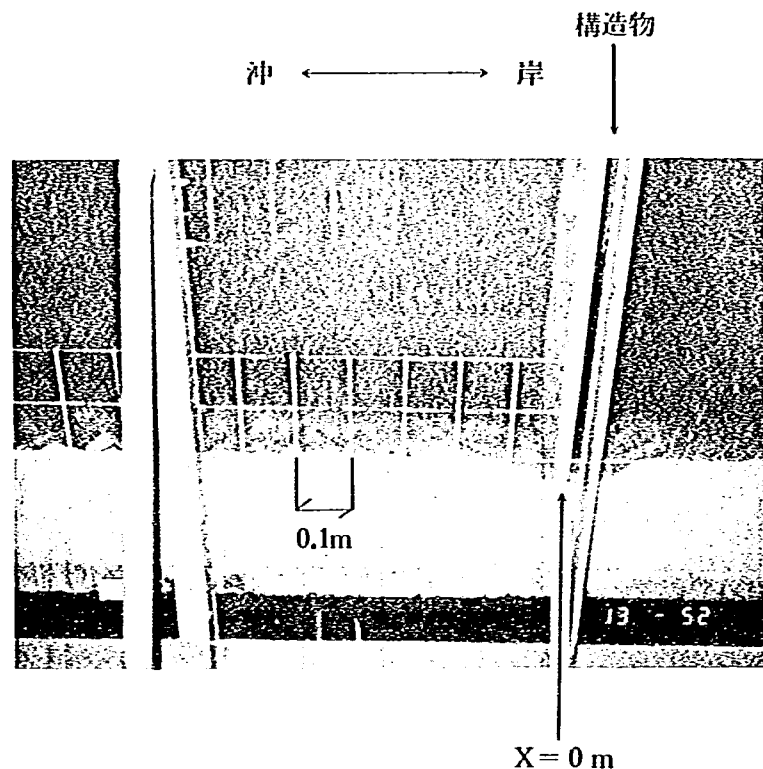


写真-3. 1 造波終了時の海底地形の状況(ケース1, 構造物近傍)

ケース1よりも波高の高いケース2では、地形変化傾向が異なり、 $X=2\sim7$ mの範囲では節の部分が侵食され腹に堆積するL-タイプの地形変化となった(図-3. 2)。また、局所洗掘深はケース1より大きい(図-3. 1, 3. 2および写真-3. 2参照)。さらに、 $X=3, 6$ m付近に位置する腹の部分における堆積量に比べ、 $X=1$ m付近の堆積量がかなり多いことから、局所洗掘により侵食された底質がこの部分に堆積したと考えられる。この結果、 $X<2$ mではL-タイプの地形変化で見られ

CASE1 ($H=10.0\text{cm}$, $T=2.80\text{sec}$)

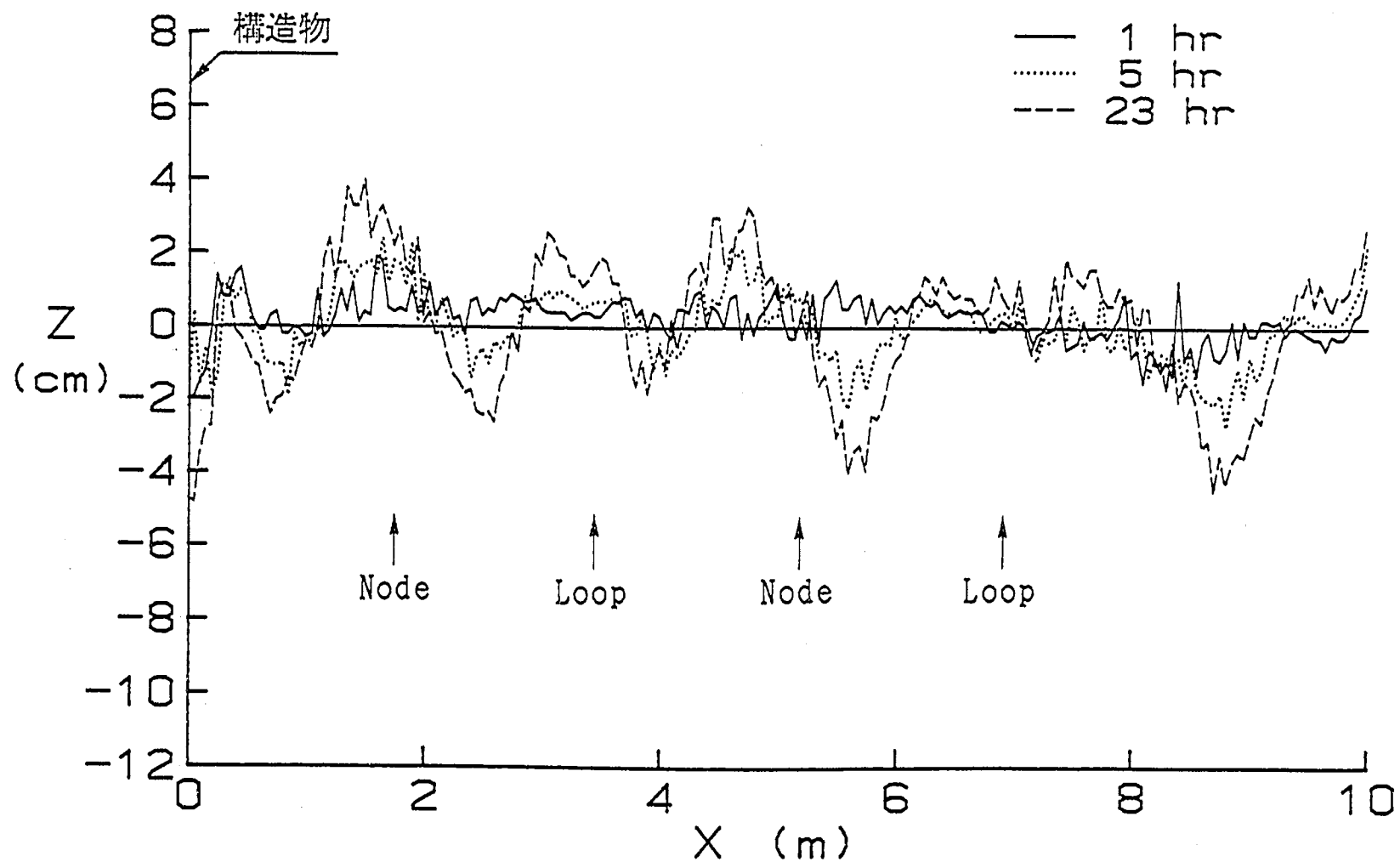


図-3.1 スリット構造物沖の海底断面形の変化(ケース1)

CASE2 ($H=15.0\text{cm}$, $T=2.50\text{sec}$)

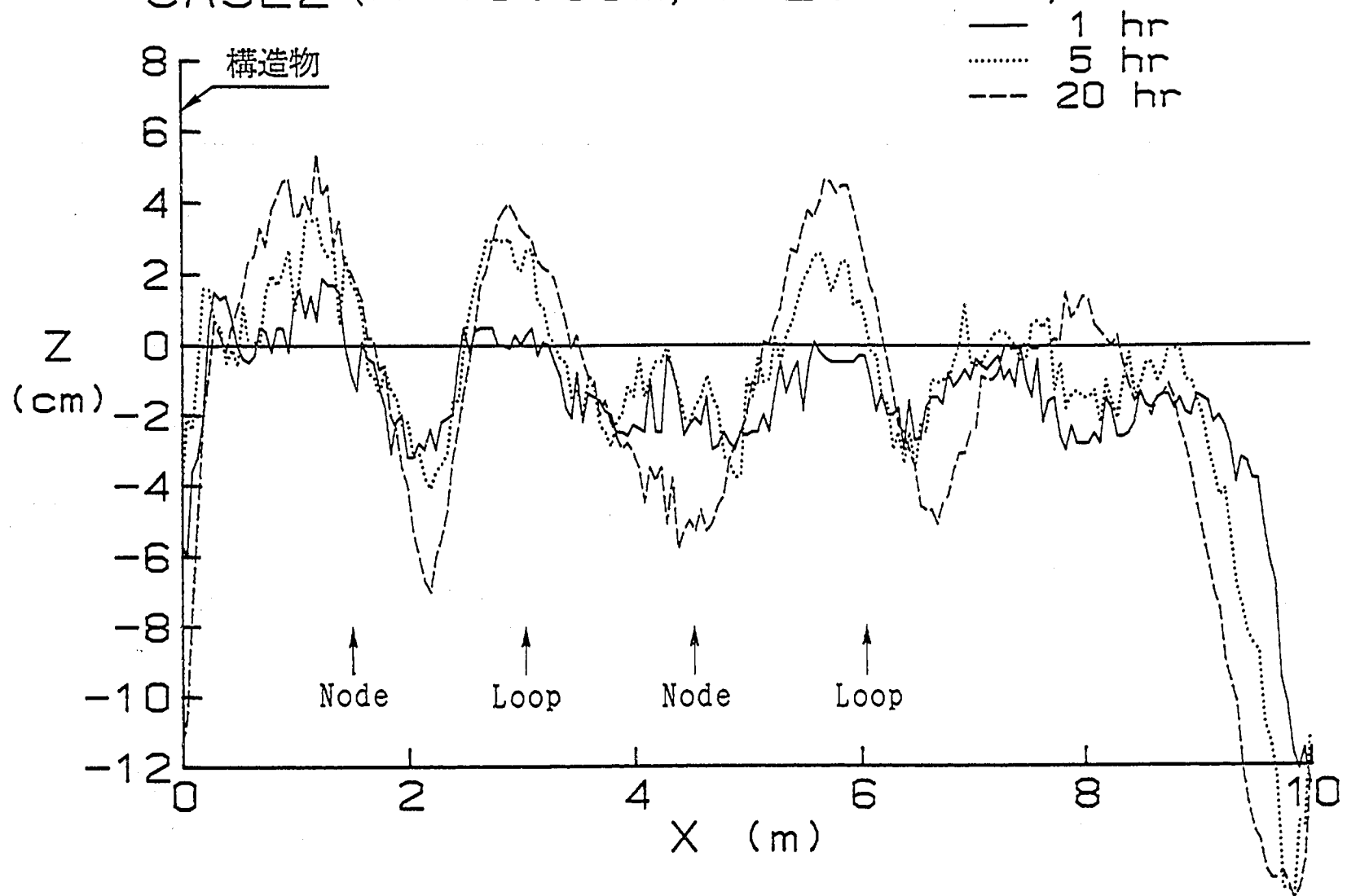


図-3.2 スリット構造物沖の海底断面形の変化 (ケース2)

る堆積域のピーク位置が約1m沖に移動したと考えられる。また、ケース2の侵食、堆積量の絶対値はケース1よりも大きく、波高の差が堆積、侵食域の分布やそれらの規模に影響することが明らかである。

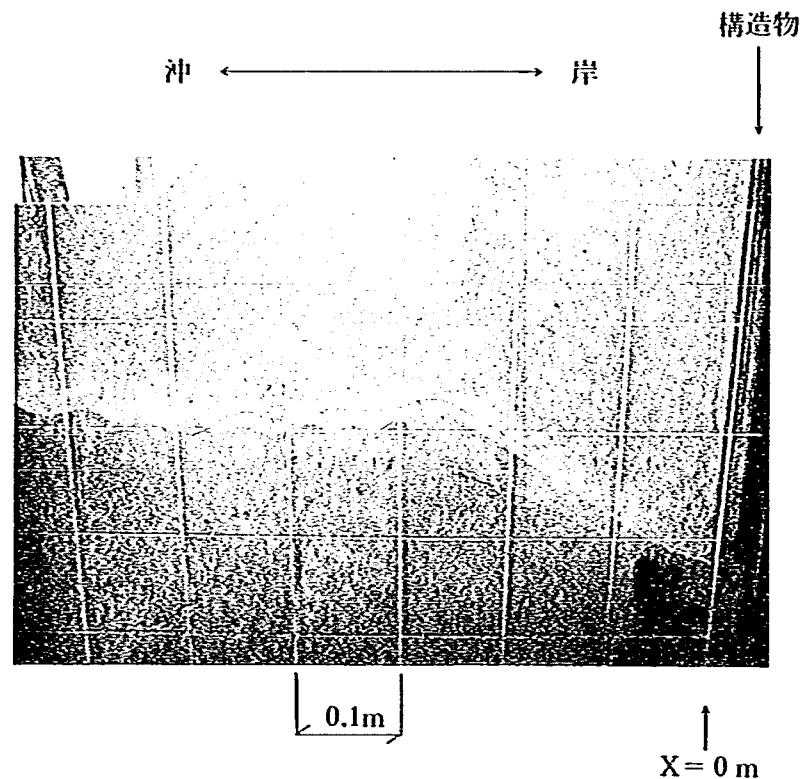


写真-3.2 造波終了時の海底地形の状況（ケース2，構造物近傍）

ケース1と波浪条件が同じで反射率の低いケース3では、 $X = 3 \sim 6$ mの範囲で節と腹の中間が侵食され、節付近で堆積が生じており（図-3.3参照），Nタイプの地形変化に分類される。これはケース1と同様である。しかし、 $X > 6$ mでは腹で侵食を生じるなど地形変化のパターンはNタイプにもLタイプにも当てはまらない。反射率の高い場合（ケース1，2）には腹での流速の水平方向成分が非常に小さいため、腹を通過する漂砂量は少ない。したがって、移動床端部の影響は半波長以上離れた移動床中央まで及ぶことはない。しかし、反射率が低いケース3ではこの傾向が弱まる。この結果、ケース1では広い範囲にNタイプの地形変化が見られたのに対し、ケース3では移動床中央部の区間でのみこの種の地形変化が生じたと考えられる。一方、構造物近くの地形変化は、ケース3の変化量の方が小さいもののケース1と類似している。

ケース2と派浪条件が同一で、反射率の低いケース4では、Lタイプの地形変化と構造物直下での局所洗掘が生じており（図-3.4参照），構造物近くでの地形変化量は小さくなったものの、地形変化パターンはケース2のそれと類似している。ケース3，4とケース1，2の実験結果の比較によれば、反射率が変化しても構造物沖の地形変化タイプ自体には変化が見られないことになる。一般に、反射率が低下すると波動運動や質量輸送速度の岸沖方向の変化が小さくなる。これはまた漂砂量の場合所的な変化を小さくする。このようなことから、反射率の小さいケース3，4では地形変化量も小さくなったと考えられる。

CASE3 ($H=10.0\text{cm}$, $T=2.80\text{sec}$)

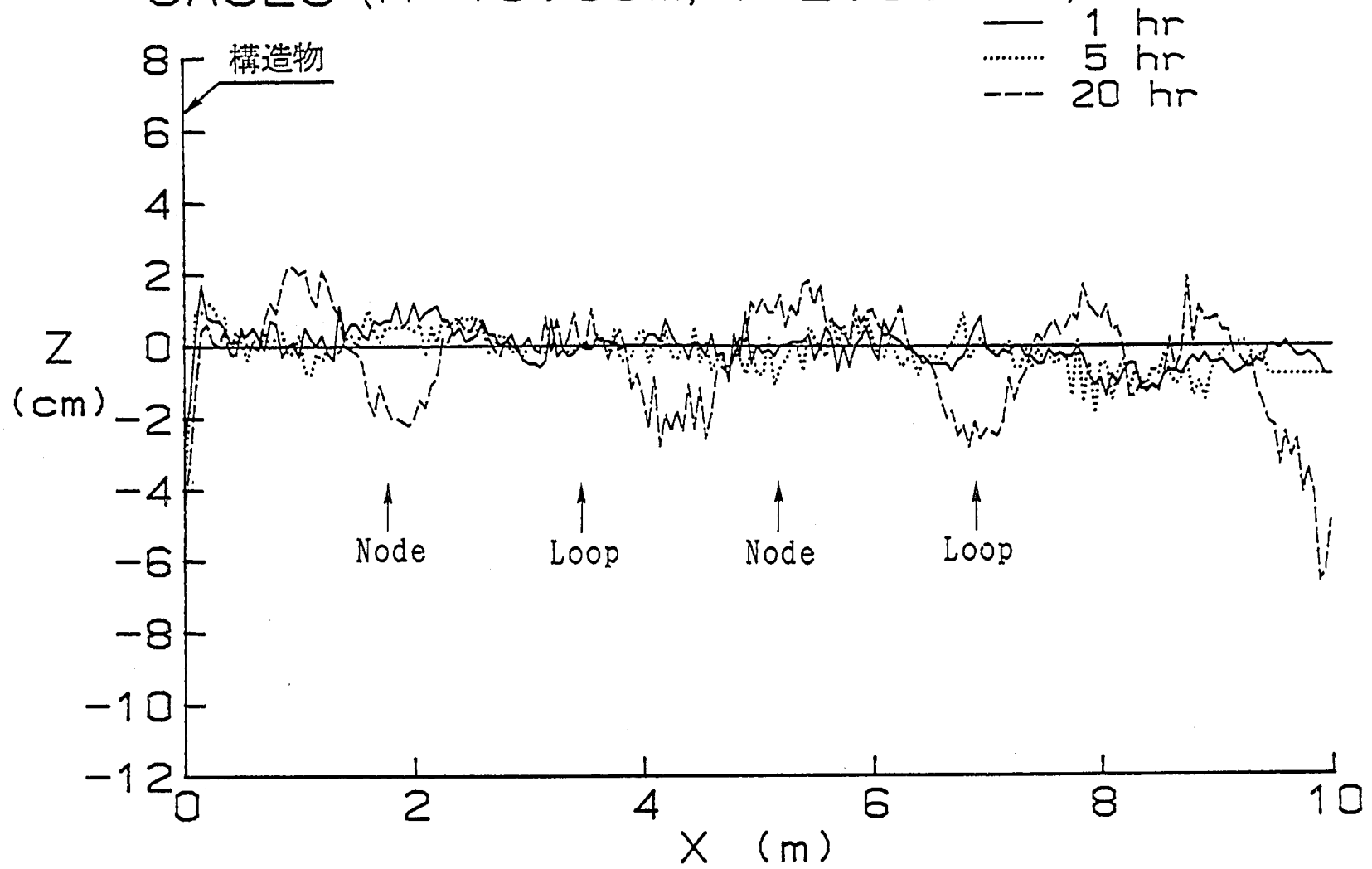


図-3.3 スリット構造物沖の海底断面形の変化 (ケース3)

CASE4 ($H=15.0\text{cm}$, $T=2.50\text{sec}$)

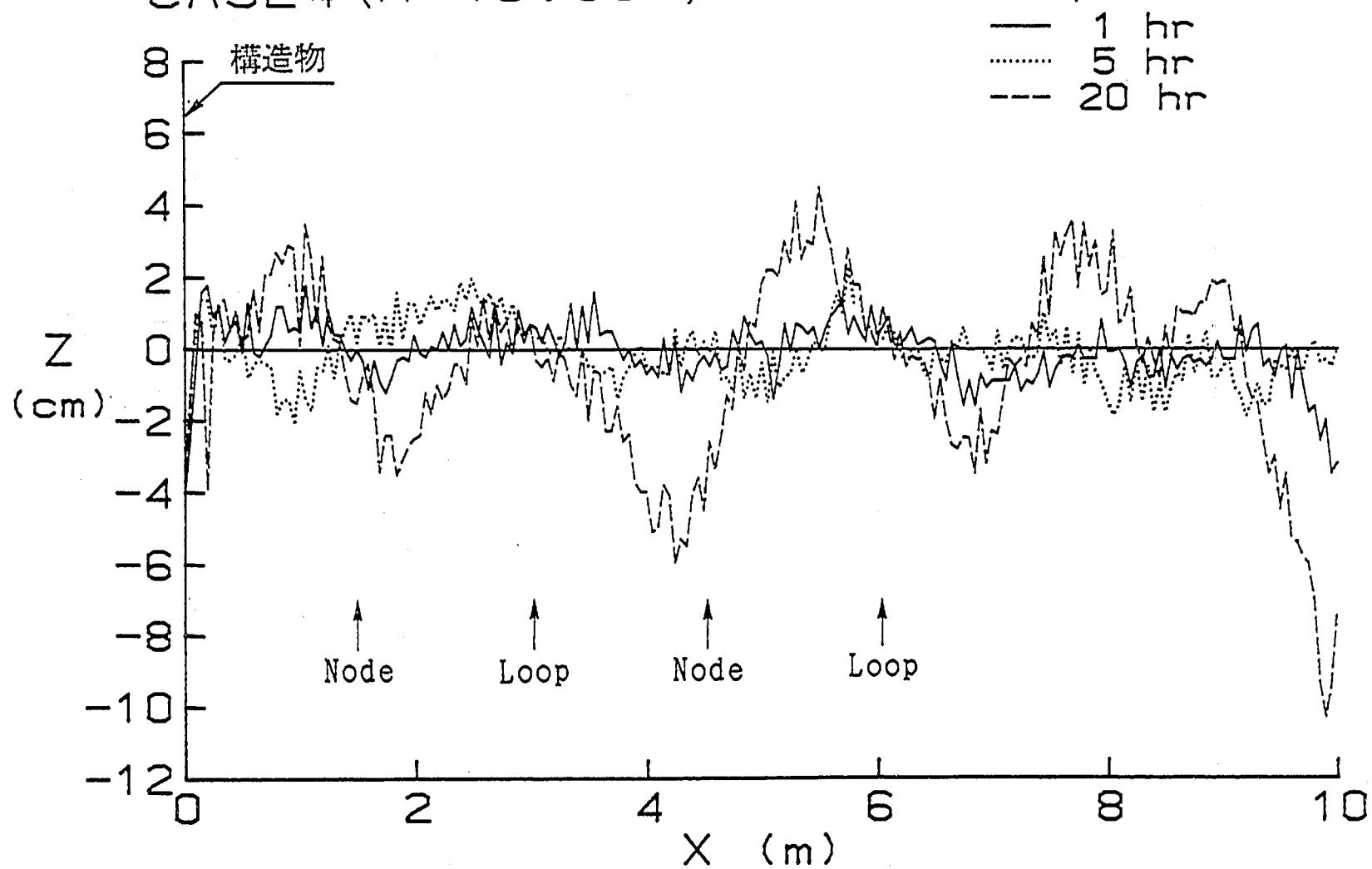


図-3.4 スリット構造物沖の海底断面形の変化(ケース4)

次に、各ケースの砂澁の形成状況の相互比較を試みた。ケース1の砂澁の形成状況を図-3. 5, 写真-3. 3に示す。砂澁の波高 η は場所によらず約2 cmであり、砂澁形の変化は主に波長 λ に見られる。

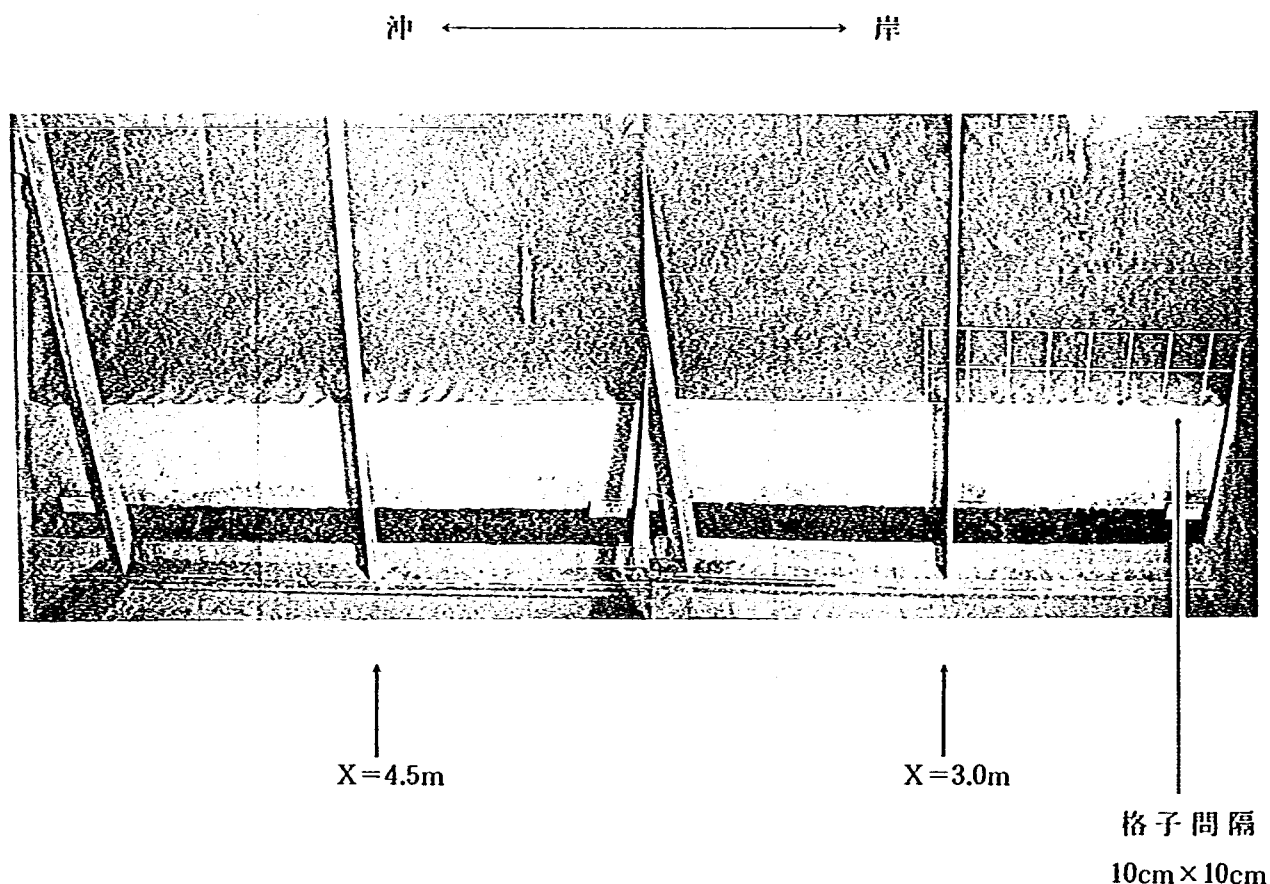


写真-3. 3 造波終了時の海底地形の状況（ケース1，構造物沖合）

このような状況は各ケースとも同様であった。したがって、以下では砂澁波長の岸沖方向変化を重点的に調べることにする。ケース1では重複波の腹の部分を除いて砂澁が発生し、その波長は堆積域で約15cm, 侵食域で約8 cmである。ケース2では腹の位置でも砂澁が発生し、波長は10cm前後で場所により異なる（図-3. 6, 写真-3. 4参照）。ケース3では、砂澁は全域で見られ、場所による波長の変化もそれほど大きくない。しかし、腹の位置の砂澁波高は小さい（図-3. 7, 写真-3. 5参照）。ケース4でも全域で砂澁が発生し、ケース3に比べ場所による波高の変化は小さい。（図-3. 8, 写真-3.6参照）。ケース3, 4は反射率が低く底面流速の岸沖方向変化が小さいため、他のケースと比べ砂澁波長の場所的な変化が小さくなったと考えられる。以上の観察結果によれば、砂澁の形成状況は波高および反射率と共に変化することが分かる。砂澁の形成状況が岸沖方向に変化することは、その影響により底質の浮遊状況や質量輸送速度の分布が岸沖方向に変化することを示唆する。

CASE 1

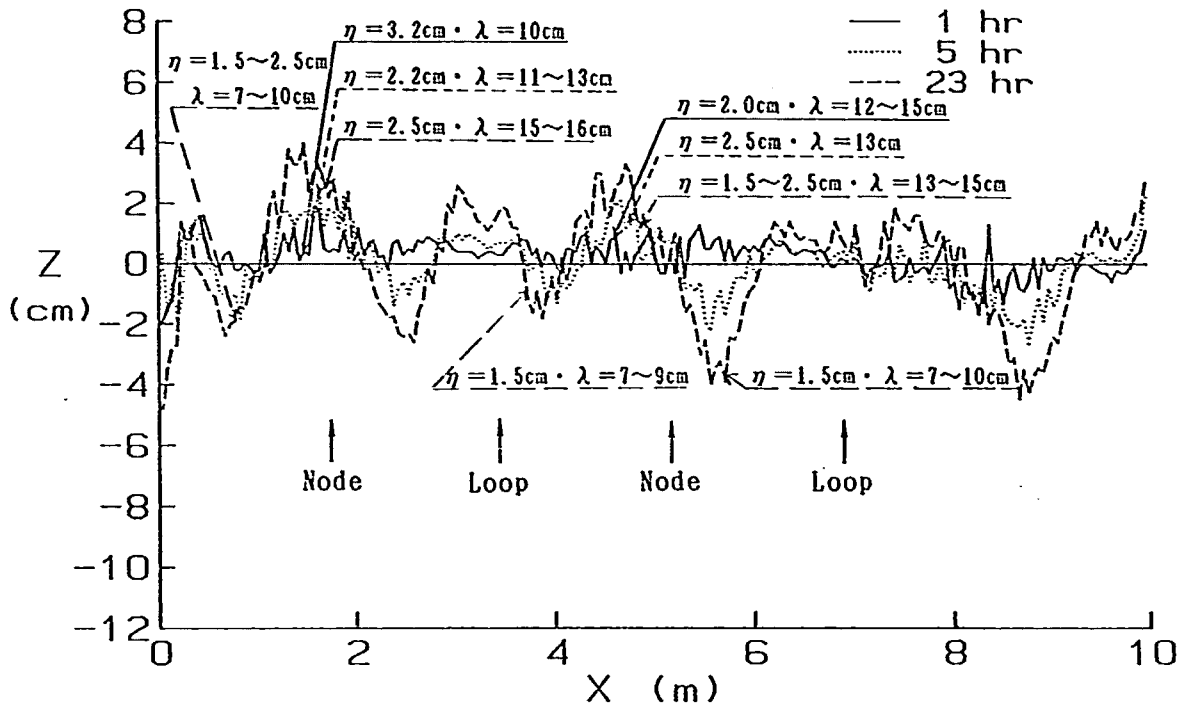


図-3.5 砂澁形成状況の観察結果 (ケース 1)

CASE 2

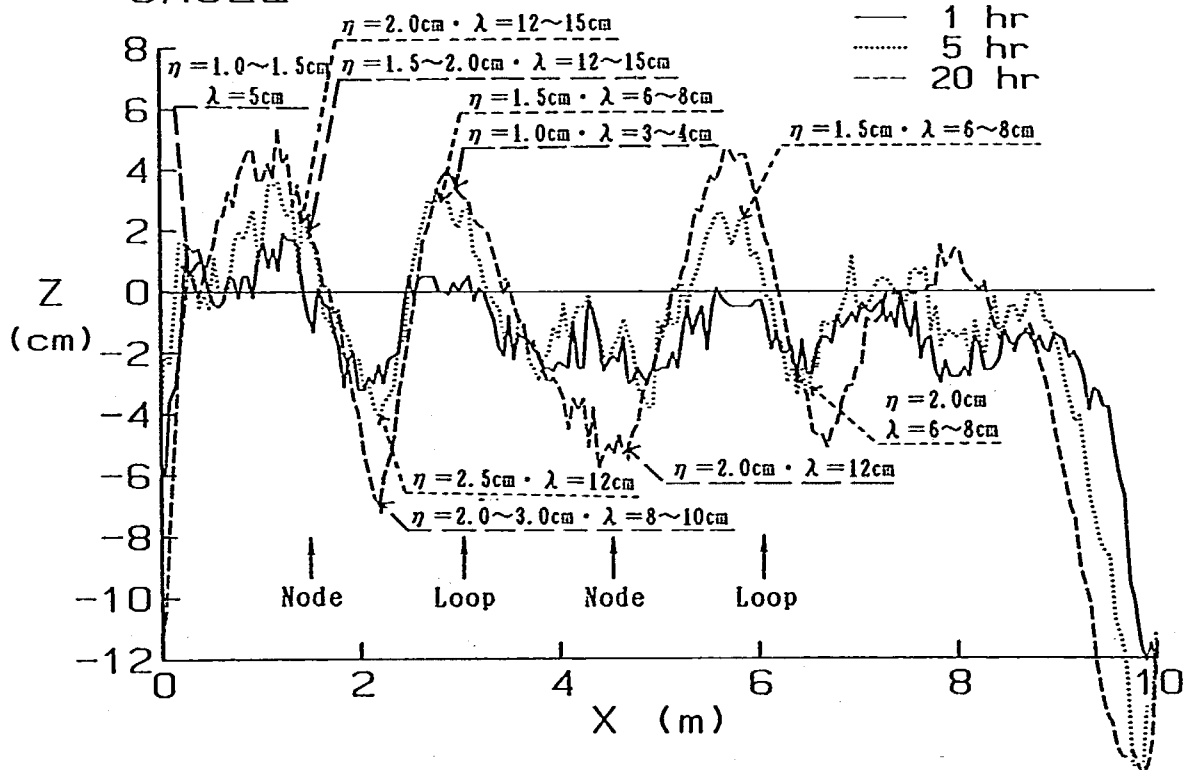


図-3.6 砂澁形成状況の観察結果 (ケース 2)

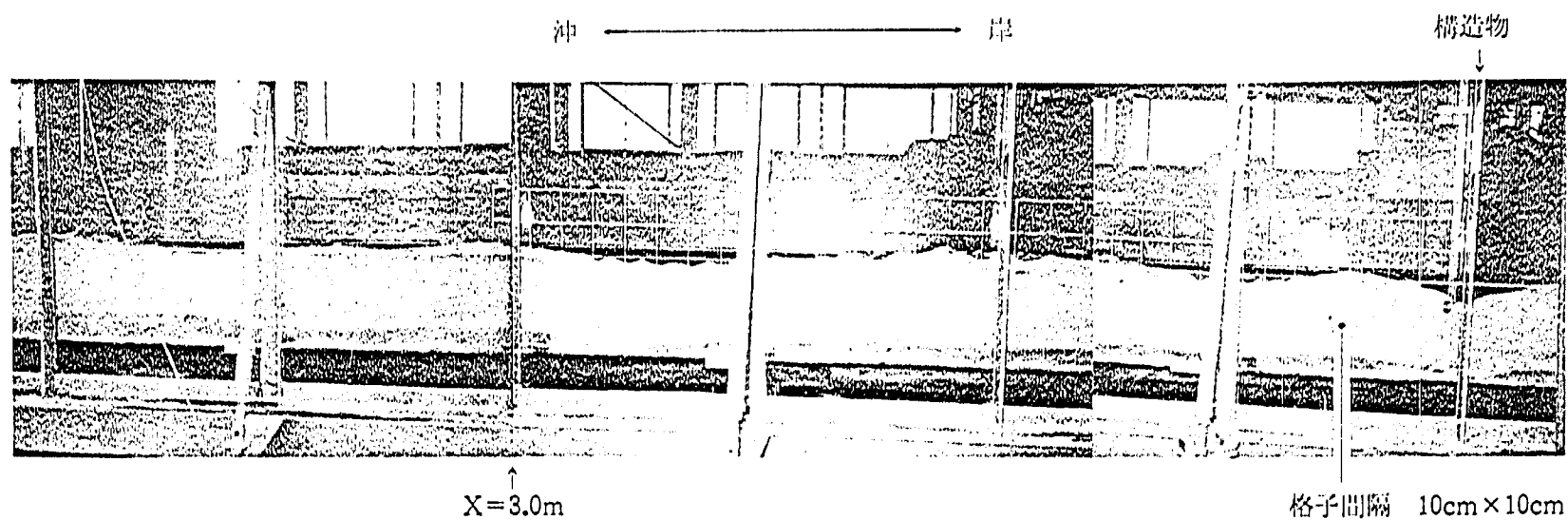


写真-3.4 造波終了時の海底地形の状況（ケース2，構造物沖合）

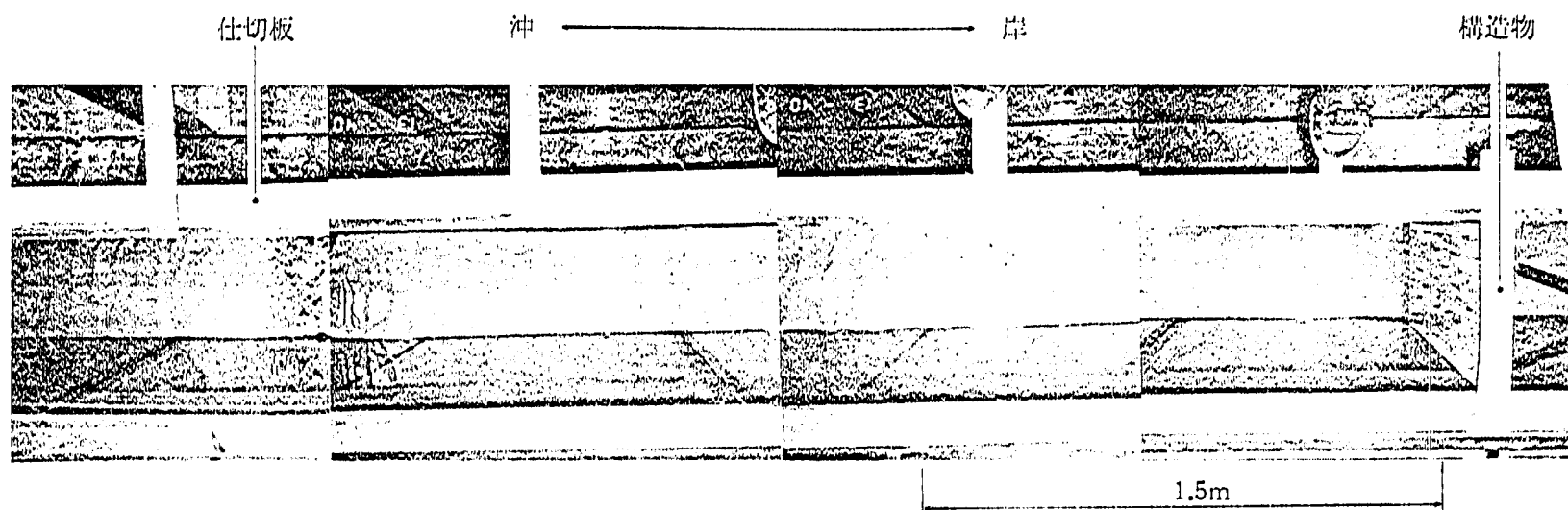


写真-3.5 造波終了時の海底地形の状況（ケース3，構造物沖合）

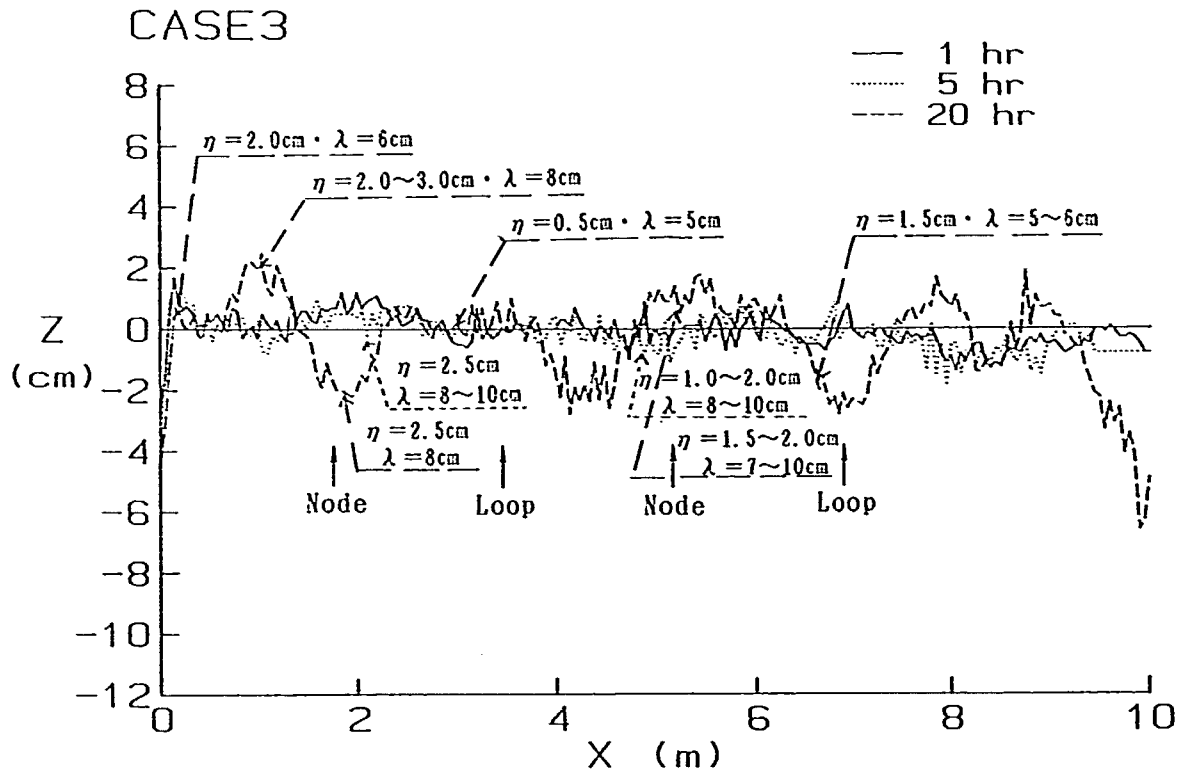


図-3.7 砂澁形成状況の観察結果 (ケース 3)

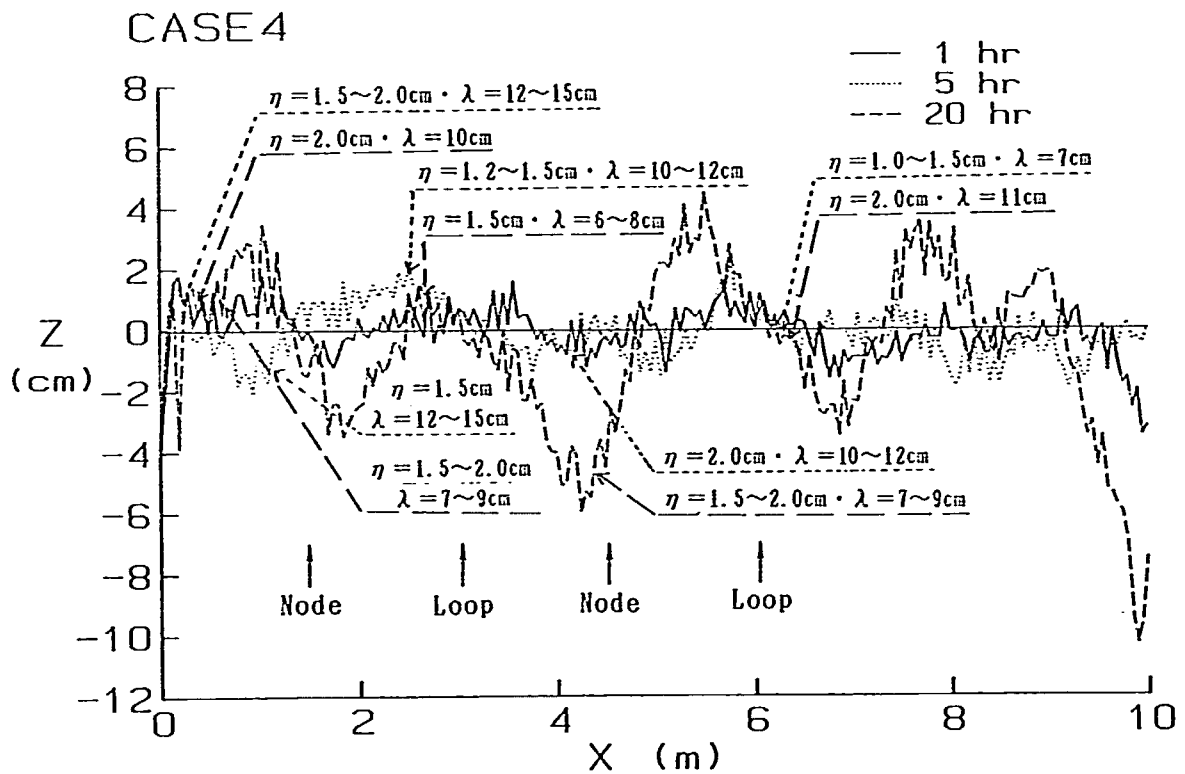


図-3.8 砂澁形成状況の観察結果 (ケース 4)

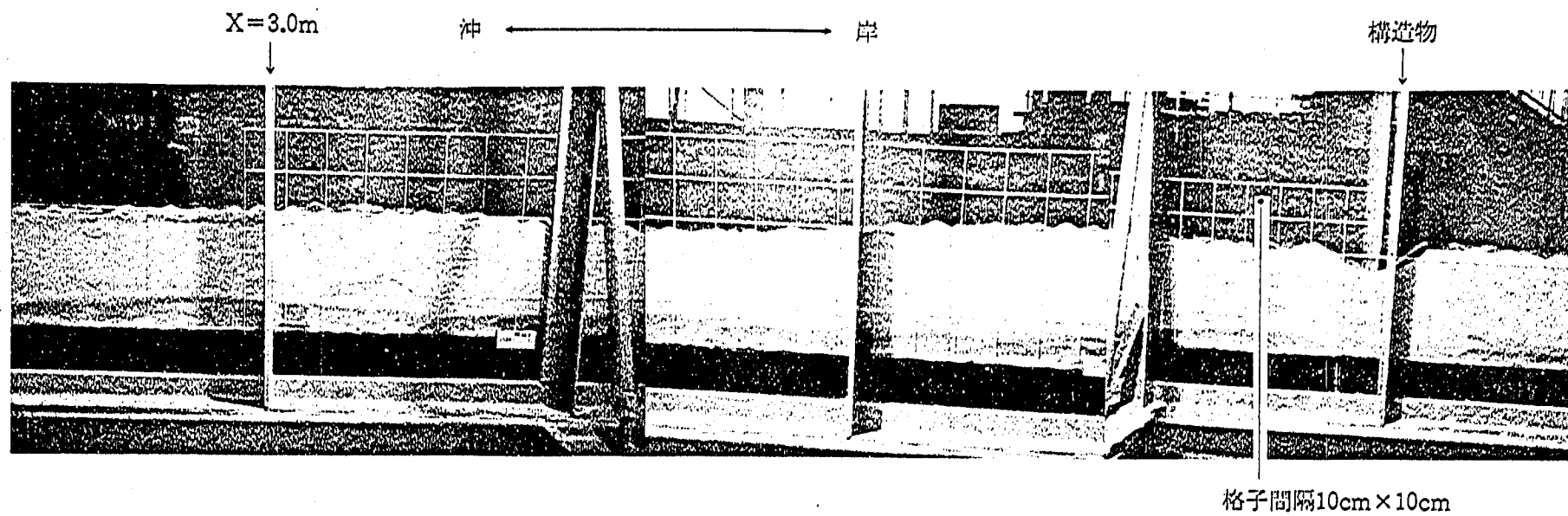


写真-3.6 造波終了時の海底地形の状況（ケース4，構造物沖合）

3. 2 底質に石炭粉を用いた実験の地形変化特性

底質に石炭粉を用いたケースの海底断面形状の経時変化について論ずる。最初に、ケース1と反射率、波浪条件が同一のケース5の断面形の変化と実験状況を図-3. 9, 写真-3. 7に示す。海底地形は最初の1時間で大きく変化しており、底質が砂の場合に比べ地形変化速度がかなり速いことが特徴である。構造物近くの最大局所洗掘深は約14cmに達するが、局所洗掘区間を除けば構造物周り ($-2 \leq X \leq 0.5\text{m}$) では全体的に堆積が生じている。さらに、 $X=1.8\text{m}$ 付近の節で侵食、 $X=3.6\text{m}$ 付近の腹で堆積を生じていることから、この区間での地形変化はL-タイプに近い。しかし、 $X > 4\text{m}$ では腹と節の中間が侵食、節で堆積、腹ではあまり変化の生じないN-タイプに近い地形変化を示している。既に述べたように、ケース5と波浪条件と反射率が同じで底質が砂のケース1では、N-タイプの地形変化が生じていたことから、底質材料により地形変化タイプが大きく異なった。石炭粉の場合、砂に比べて $\hat{U}b/w_0$ がやや大きい範囲にあるため(表-2. 1参照)、ケース5はケース1に比べL-タイプに近い地形変化になったと考えられる。

ケース5より入射波高の高いケース6の地形変化を図-3. 10に示す。構造物および移動床端部の近くを除いた $X=1.5 \sim 8\text{m}$ の範囲で節が侵食され腹に堆積するL-タイプの地形変化が見られる。また、節に近い $X=1\text{m}$ 付近での堆積は、構造物直下で侵食された底質の堆積を表わすと考えられる。このケースでは局所洗掘の生ずる範囲がケース5に比べ沖方向に広がっており、このことが構造物近くでの堆積位置を沖方向へ移動させたと考えられる。

以上の実験結果によれば、底質が石炭粉、珪砂に係わらず、地形変化のパターンは入江らによる $\hat{U}b/w_0$ によって判別できると考えられる。しかし、ケース1, 2とケース5, 6を比較すると、地形変化の規模、地形変化速度ともに石炭粉を用いたケースの方が大きい。したがって、 $\hat{U}b/w_0$ により地形変化の相似性を定量的な意味より判断することはできない。現在のところ、現地と実験との定量的な相似を可能とするように実験条件を設定することは困難であり、したがって現地の地形変化を予測するためには地形変化の物理機構を反映した計算モデルを開発する必要がある。

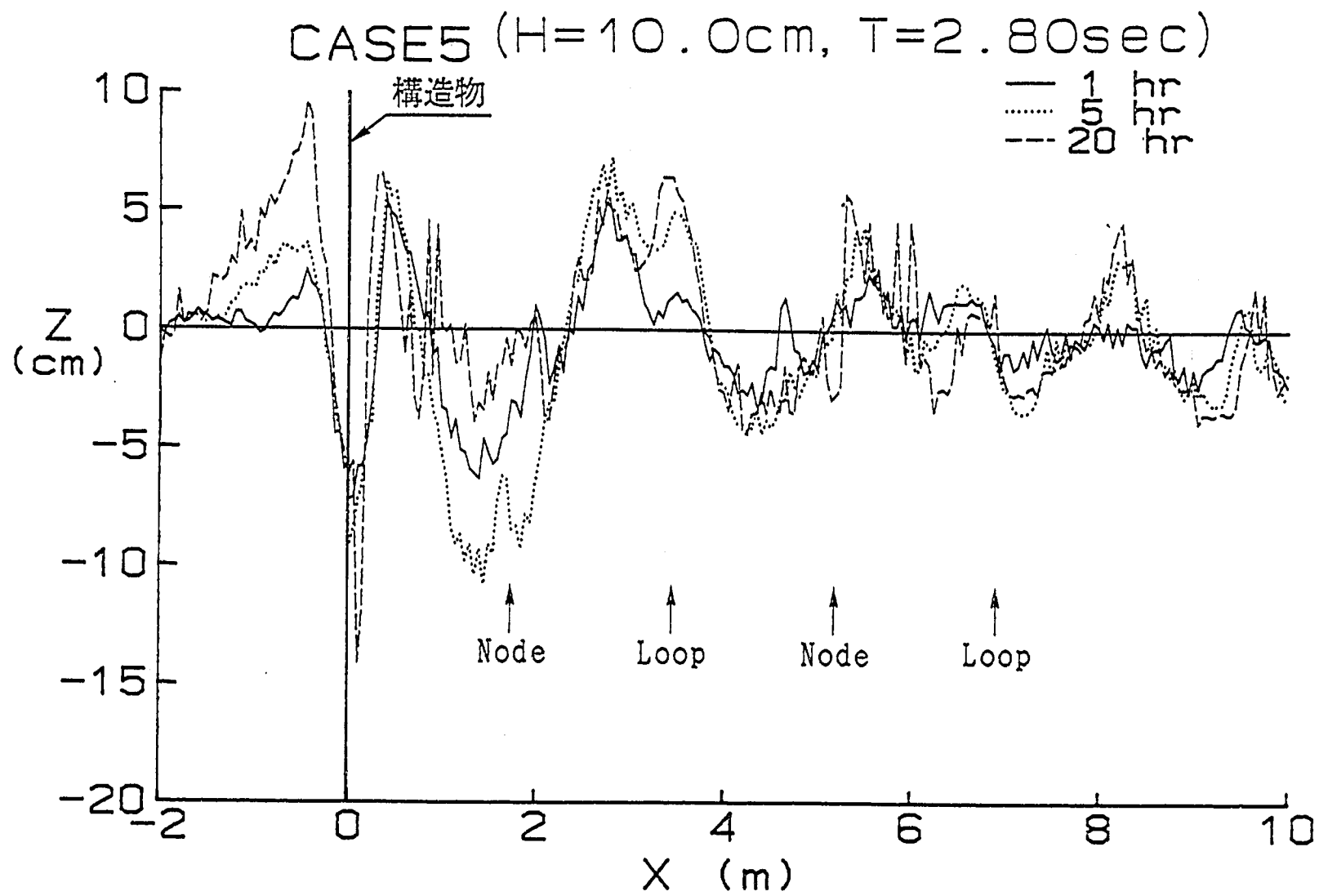


図-3.9 スリット構造物沖の海底断面形の変化(ケース5)

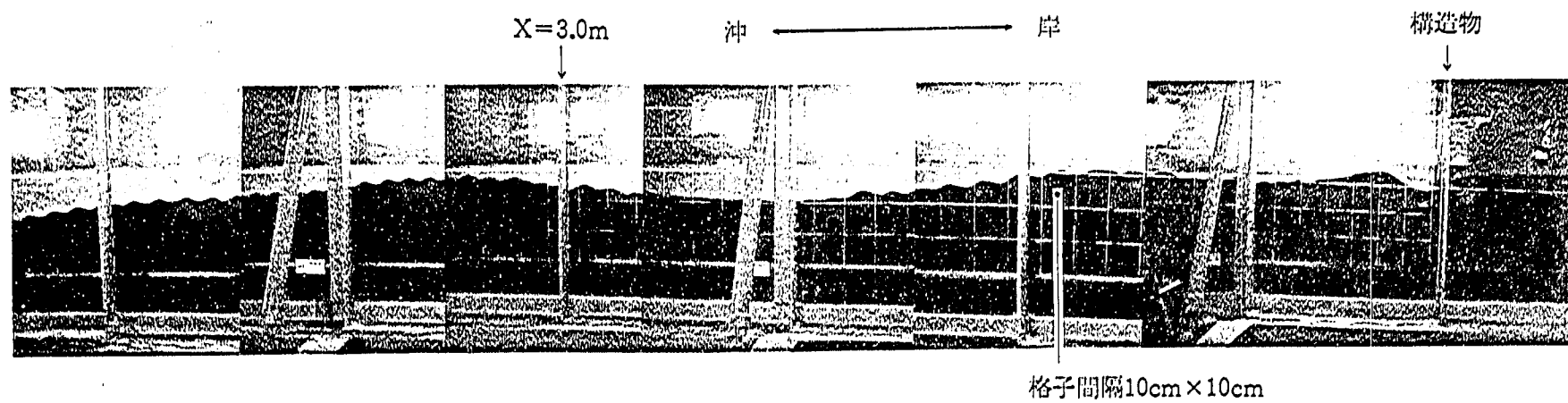


写真-3.7 造波終了時の海底地形の状況（ケース5，構造物沖合）

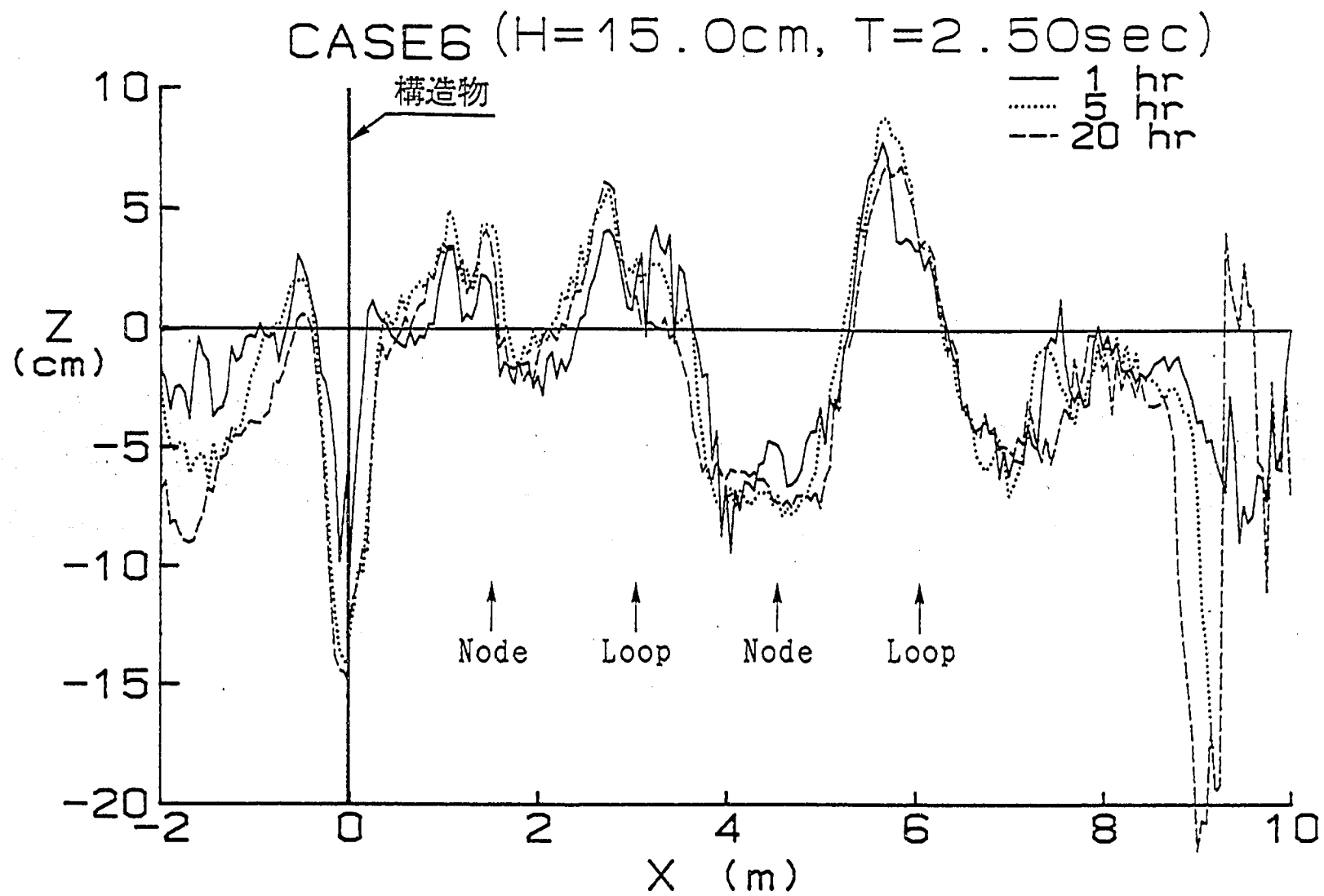


図-3.10 スリット構造物沖の海底断面形の変化 (ケース 6)

4. 地形変化の要因

4. 1 浮遊砂濃度の鉛直分布

重複波の作用下での地形変化に関する研究は数多いが、浮遊砂濃度の鉛直分布が岸沖方向に変化することと、地形変化との関係はあまり調べられていないようである。重複波の場合では底面流速振幅や砂澱の形状は岸沖方向に変化し、またそれは地形変化と密接な関連を有している。そこで構造物位置と、重複波の腹のうち最も構造物に近接する腹の区間においてまず浮遊砂濃度の鉛直分布を調べた。

底面から高さ $Z' = 1 \sim 25\text{cm}$ の区間で測定された浮遊砂濃度の時間平均値 C_m 、および1波ごとの最大浮遊砂濃度の平均値 C_{mx} の鉛直分布を図-4. 1~4. 6に示す。ケース1 (図-4. 1) の各測点における C_m 、 C_{mx} の分布形および底面より十分高い位置の濃度は、場所による違いが大きい。底面付近の濃度勾配は節近くの $X=1.150\text{m}$ 、 1.725m で大きく、腹の位置 $X=0\text{m}$ 、 3.45m で小さい。これは、節で底面流速振幅が大きく、腹では小さいことに対応すると考えられる。底面より十分高い位置の濃度に関しては、 $Z' \geq 10\text{cm}$ では全ての測点で C_m 、 C_{mx} は鉛直方向にはほぼ一定である。また、その絶対値は構造物位置で大きく、 $X=3.45\text{m}$ 位置を除けば構造物から離れるほど小さくなる。

ケース2の C_m 、 C_{mx} の分布形 (図-4. 2) でも、節付近の $X=1.510\text{m}$ 、 2.015m で底面付近の濃度勾配が大きく、底面より十分高い位置の濃度は構造物近くで高く、構造物より離れると低くなる。したがって、底面より十分高い位置では、構造物直下で巻き上げられた底質がスリット構造物により発生する乱れにより拡散していることが示唆される。一方、底面付近では波動運動による底質の浮遊が卓越していると考えられる。以上のことから、ケース1、2の浮遊砂濃度には波動運動による底質の浮遊と構造物周辺での浮遊砂の拡散とが関与することが分かる。

反射率と入射波高の低いケース3 (図-4. 3) では、底面より十分高い位置の C_m 、 C_{mx} は、ケース1、2のように構造物に近いほど高いという傾向は示さない。ただし、底面付近の濃度勾配はやはり節近くの $X=1.150\text{m}$ 、 1.725m で大きい。したがって、底面付近の濃度は主に波動運動により支配されているはずである。また、このケースでは $X=0\text{m}$ でも底面付近の濃度勾配が大きい。このケースは、反射率が小さく、空隙を通過する流速が速いため、堤脚部での底質移動が激しく、底面近傍の濃度が高くなったと考えられる。

ケース3より入射波高の高いケース4 (図-4. 4) でも $X=0\text{m}$ の底面付近の濃度勾配が大きい。一方、底面より十分高い位置の濃度は、ケース3、4ともに構造物位置では小さく、ケース1、2と異なる結果である。ケース3、4の濃度分布によると、 $X=0\text{m}$ の測線を除いては $Z' > 5\text{cm}$ で C_m 、 C_{mx} がほぼ一定となるのに対し、 $X=0\text{m}$ の測線では $Z' > 5\text{cm}$ でもこれらが減少傾向を示す。これは、空隙が大きくなると通過流量が増すので、堤脚部で巻き上げられた底質が透過側および反射側へと水平方向に多く移動するようになり、鉛直上方へ拡散しなくなったためと考えられる。したがって、ケース3、4のように反射率の低い場合には、反射率の高いケース1、2において底面より十分高い位置まで巻上がった底質が沖方向に拡散するのとは異なり、比較的底面に近い高さで底質が水平方向に拡散することが分かる。

底質が石炭粉の場合 (図-4. 5, 4. 6) 、底面より十分高い位置の濃度は構造物位置で高いのみで、

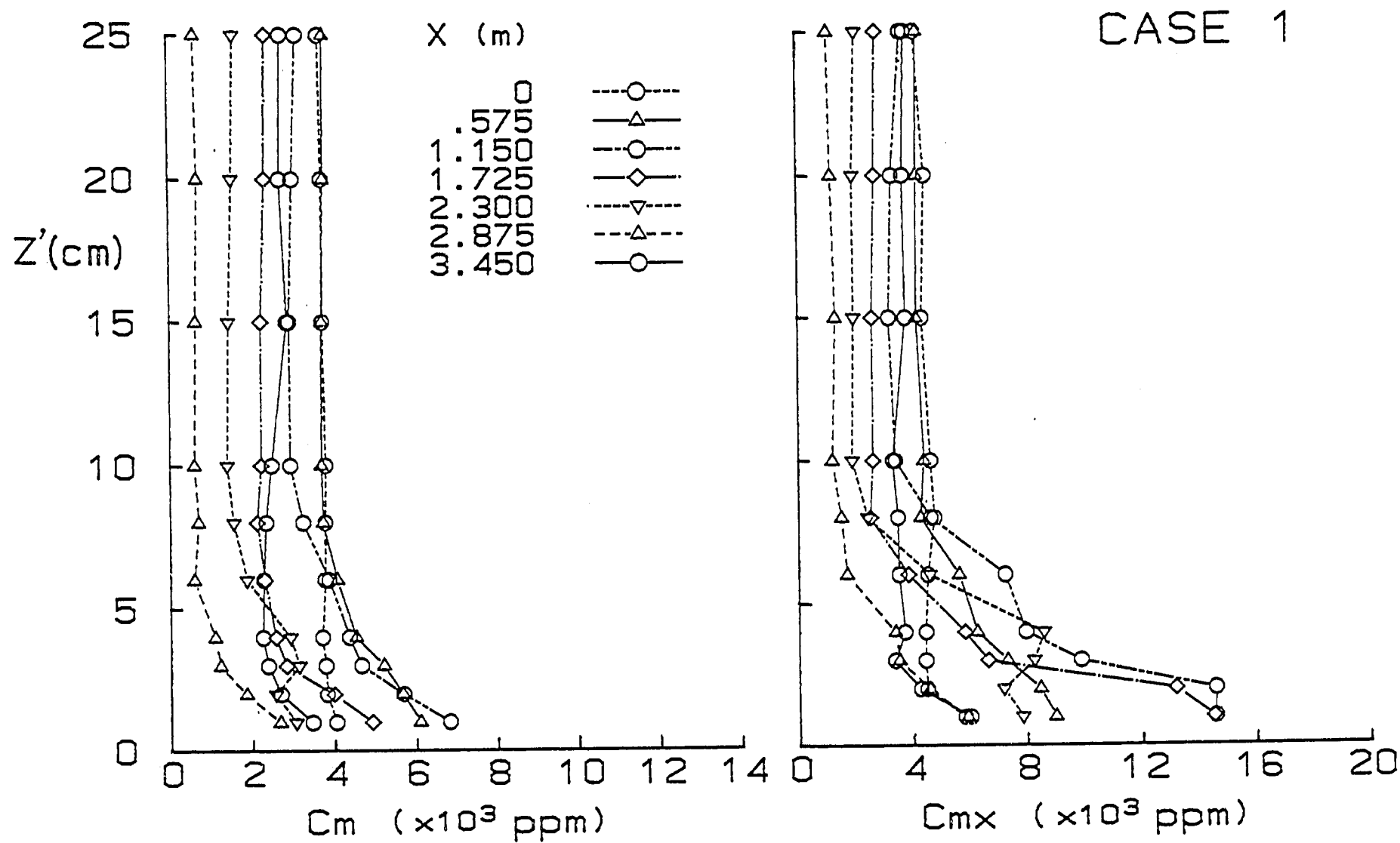


図-4.1 浮遊砂濃度の鉛直分布 (ケース1)

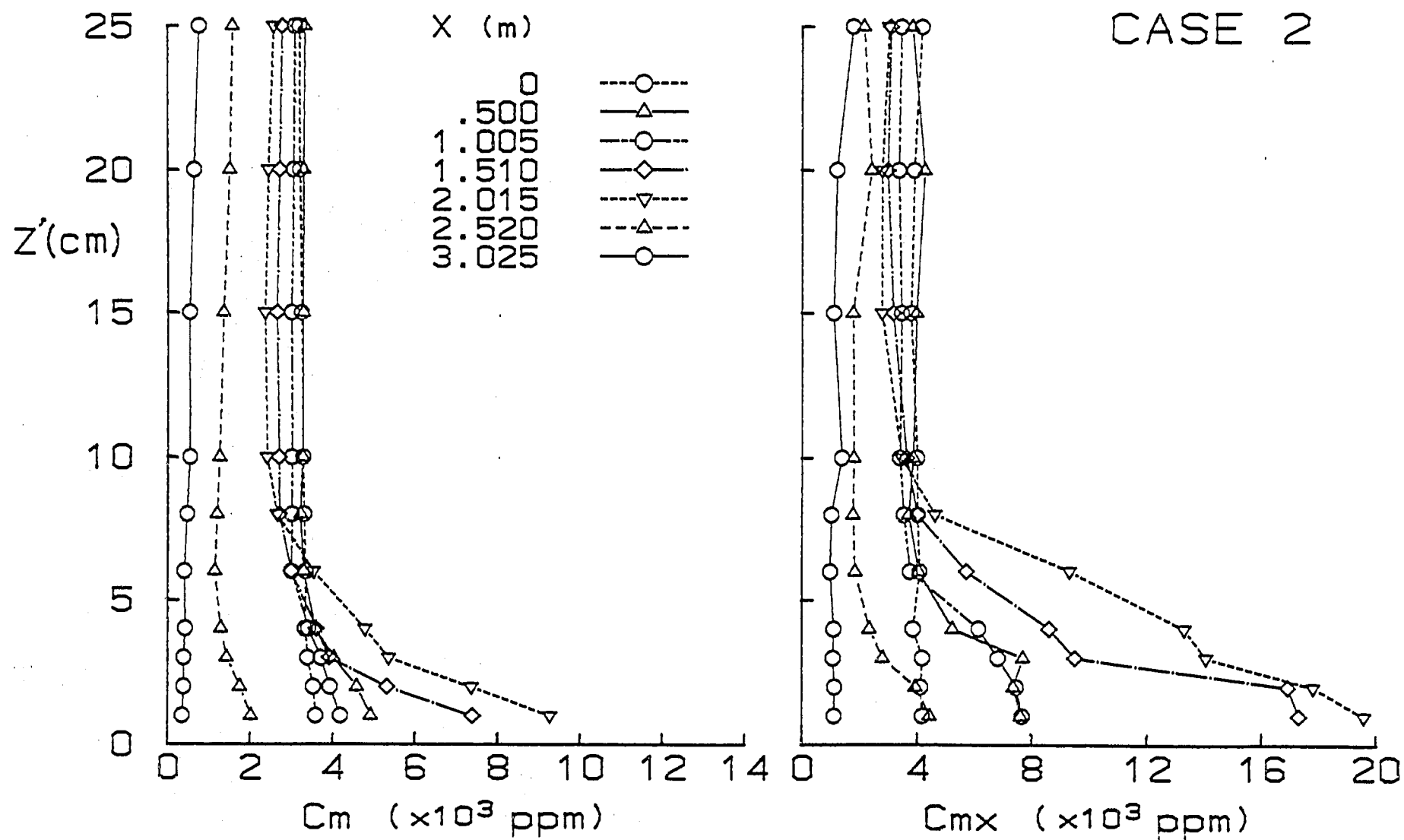


図-4.2 浮遊砂濃度の鉛直分布 (ケース2)

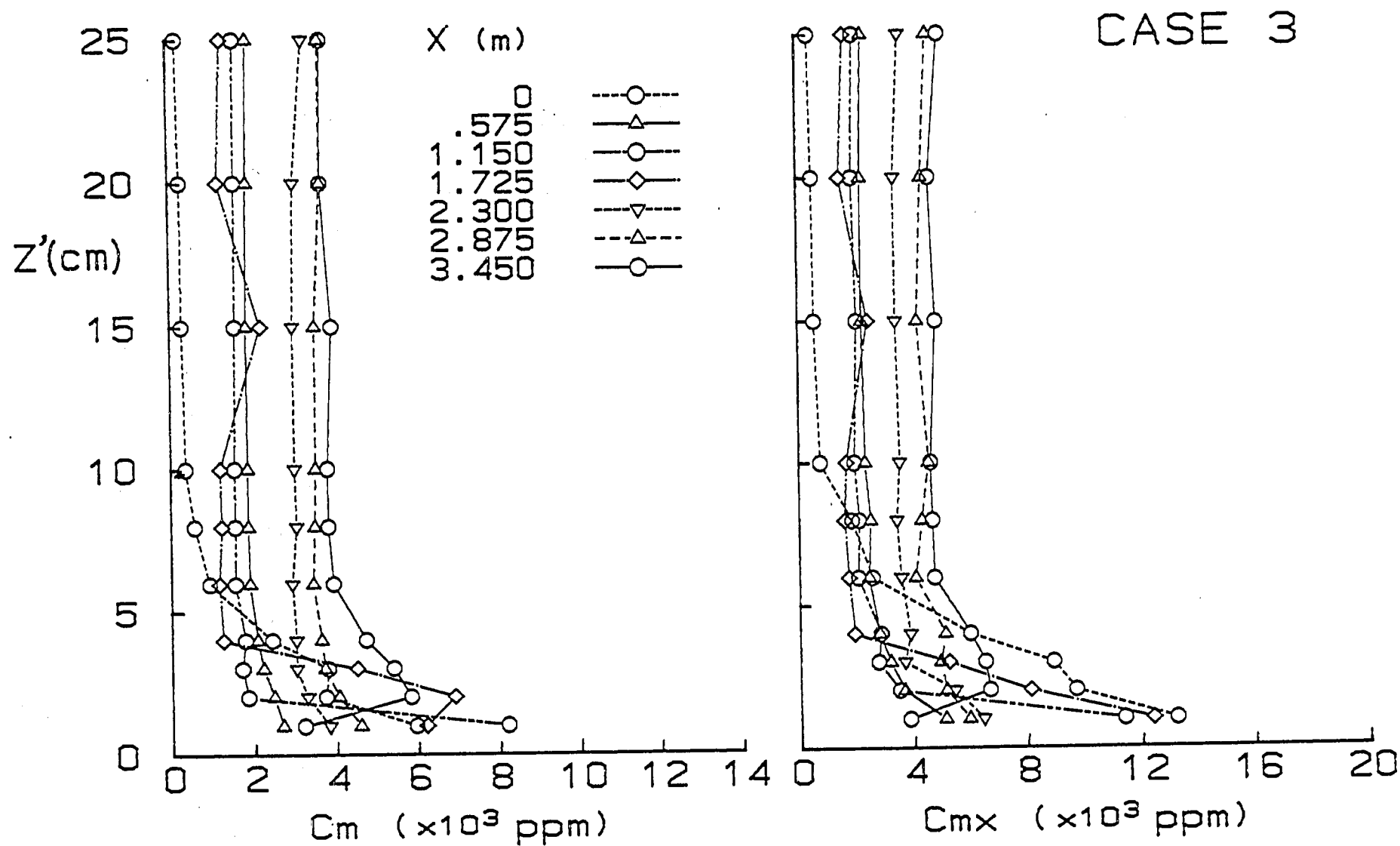


図-4.3 浮遊砂濃度の鉛直分布 (ケース3)

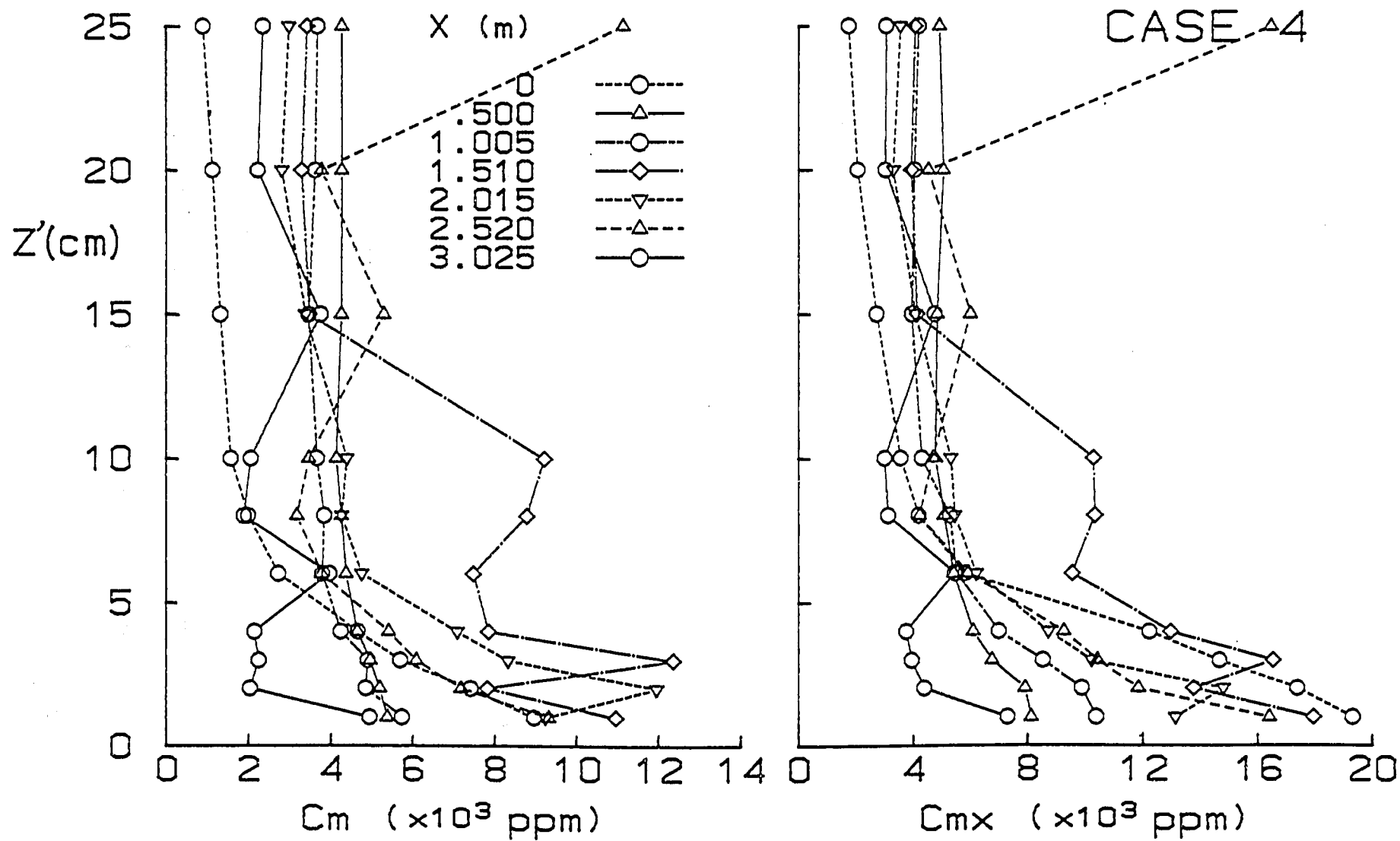


図-4.4 浮遊砂濃度の鉛直分布 (ケース4)

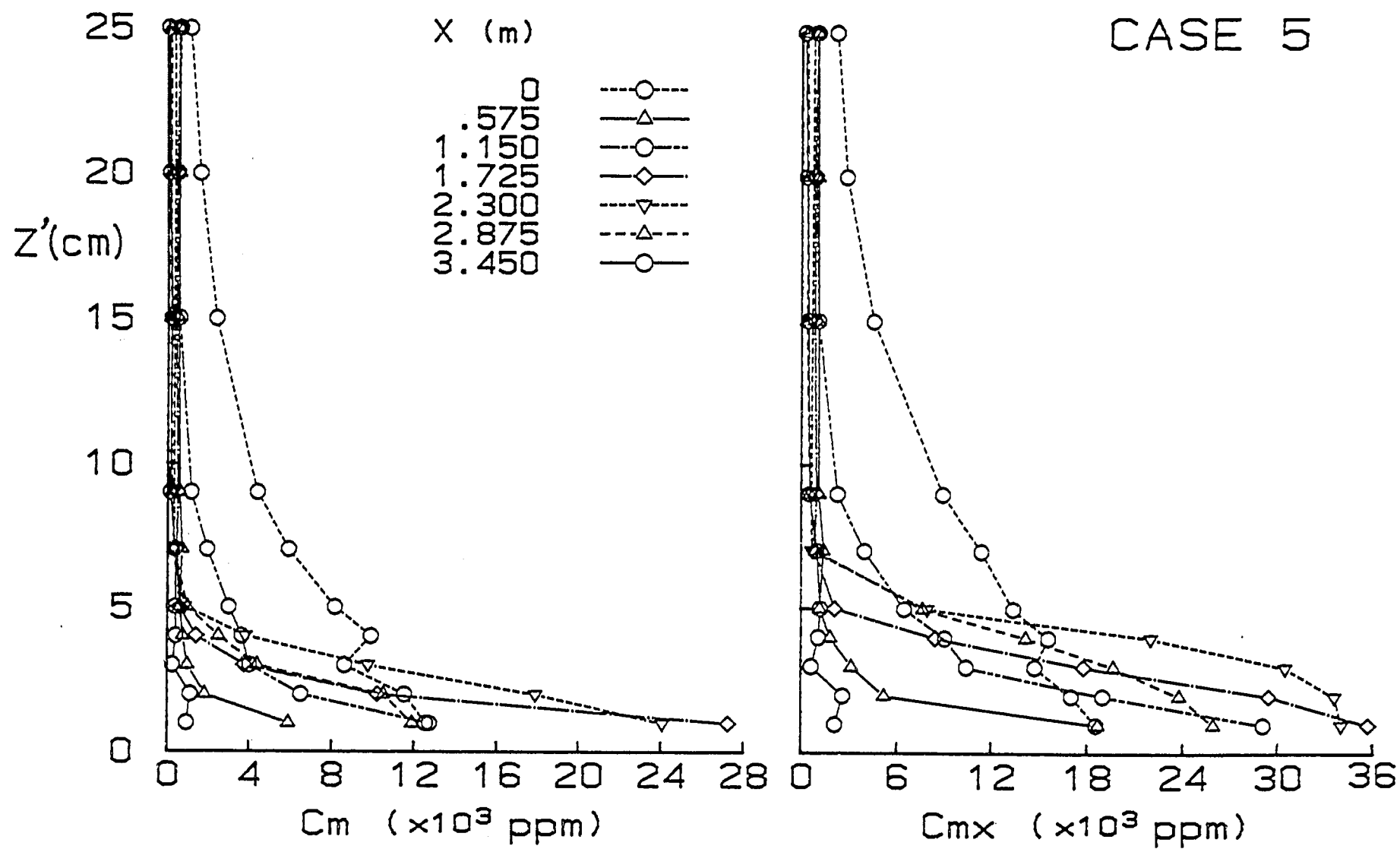


図-4.5 浮遊砂濃度の鉛直分布 (ケース5)

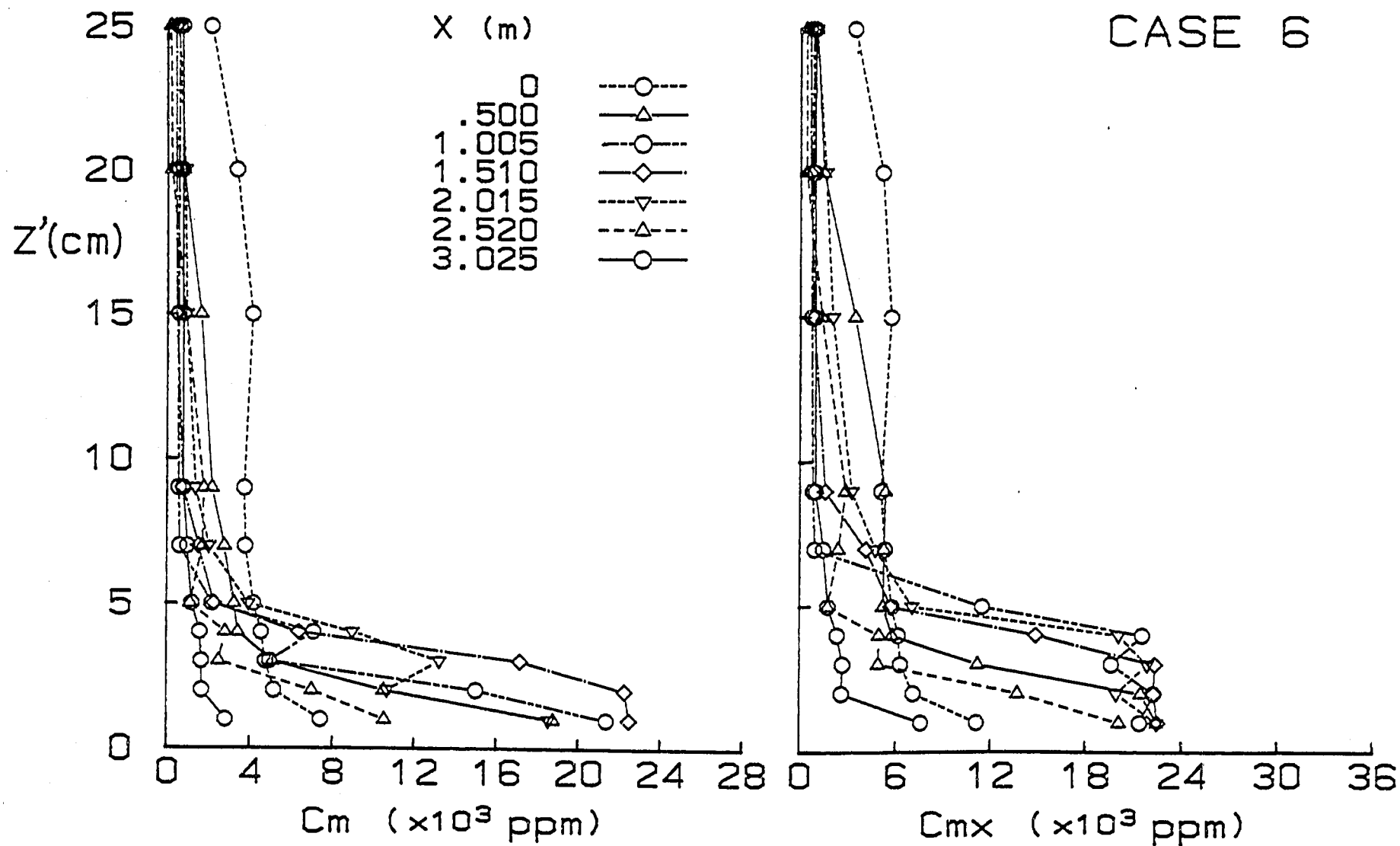


図-4.6 浮遊砂濃度の鉛直分布 (ケース6)

構造物から離れると急速に小さくなりほとんど0になっている。これに対し、底面付近では $Z' = 2 \sim 3 \text{ cm}$ の高さまで非常に高濃度であり、高濃度層と低濃度層とが明瞭に区分される（図-4. 5, 4. 6, および写真-4. 1参照）。このような特徴は、底質が砂の場合とはかなり異なっている。一方、底面付近の C_m の勾配は、ケース5, 6共に節に近い測線で大きく、構造物位置を除けば腹に近い測線で小さい。このことは、底質が砂の場合と同様、 C_m が底面流速振幅の変化に対応していることを示すと考えられる。

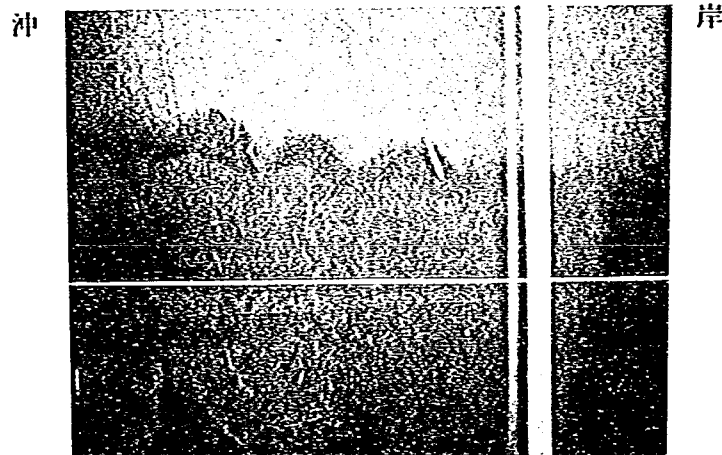


写真-4. 1 石炭粉の浮遊状況（ケース5）

4. 2 底面付近の流速振幅と浮遊砂濃度の関係

底面付近の流速振幅と浮遊砂濃度の関係を調べるため、波高 H 、流速振幅 $\hat{U}b$ および浮遊砂濃度の岸沖分布を図-4. 7~4. 12に示す。浮遊砂濃度は、底質が砂の場合には $Z' = 1 \text{ cm}$ と 25 cm の C_m , C_{mx} の値を、底質が石炭粉の場合には $Z' = 1 \text{ cm}$ の C_m , C_{mx} の値を示した。反射率の高いケース1（図-4. 7）、ケース2（図-4. 8）では、 $\hat{U}b$ は節で最大、腹で最小となり、節を中心としてほぼ対称形である。 $Z' = 1 \text{ cm}$ の C_m , C_{mx} の分布形は $\hat{U}b$ のそれとかなり良く対応している。ケース3（図-4. 9）、ケース4（図-4. 10）では反射率が低いので $\hat{U}b$ の変化は小さくなる。ケース3ではピークの現れる位置が多少ずれているが、 $Z' = 1 \text{ cm}$ の C_m , C_{mx} の分布形は $Z' = 3 \text{ cm}$, 10 cm の $\hat{U}b$ の分布形とほぼ対応している。また、ケース4の $Z' = 1 \text{ cm}$ の C_m および C_{mx} の分布形状はケース1, 2と同様、 $Z' = 2 \text{ cm}$ の $\hat{U}b$ と良い対応を示す。このケースでは構造物位置（ $X = 0 \text{ m}$ ）で $\hat{U}b$ が急に増大しているが、これは空隙率（透過率）が大きいことため空隙の通過流速が速くなったことによる。また、空隙の通過流速が速くなるに伴い、構造物より発生する乱れも大きくなるため、構造物位置の C_m , C_{mx} が大きくなったと考えられる。ケース3の $\hat{U}b$ にこのような傾向は見られないのは、流速計の設置位置が空隙位置からずれているためであろう。

石炭粉のケース5（図-4. 11）、ケース6（図-4. 12）でも、 $\hat{U}b$ の分布形状と $Z' = 1 \text{ cm}$ の C_m および C_{mx} の分布形は良く対応している。以上のことより、底面近傍の浮遊砂濃度は流速振幅の岸沖変化と強く関連することが明らかであり、底面付近の浮遊砂濃度は波動運動に主に支配されることが裏付けられる。ただし、構造物位置では、空隙を通過する流れの流速や乱れに応じて局所的に濃度の変化が生じる。

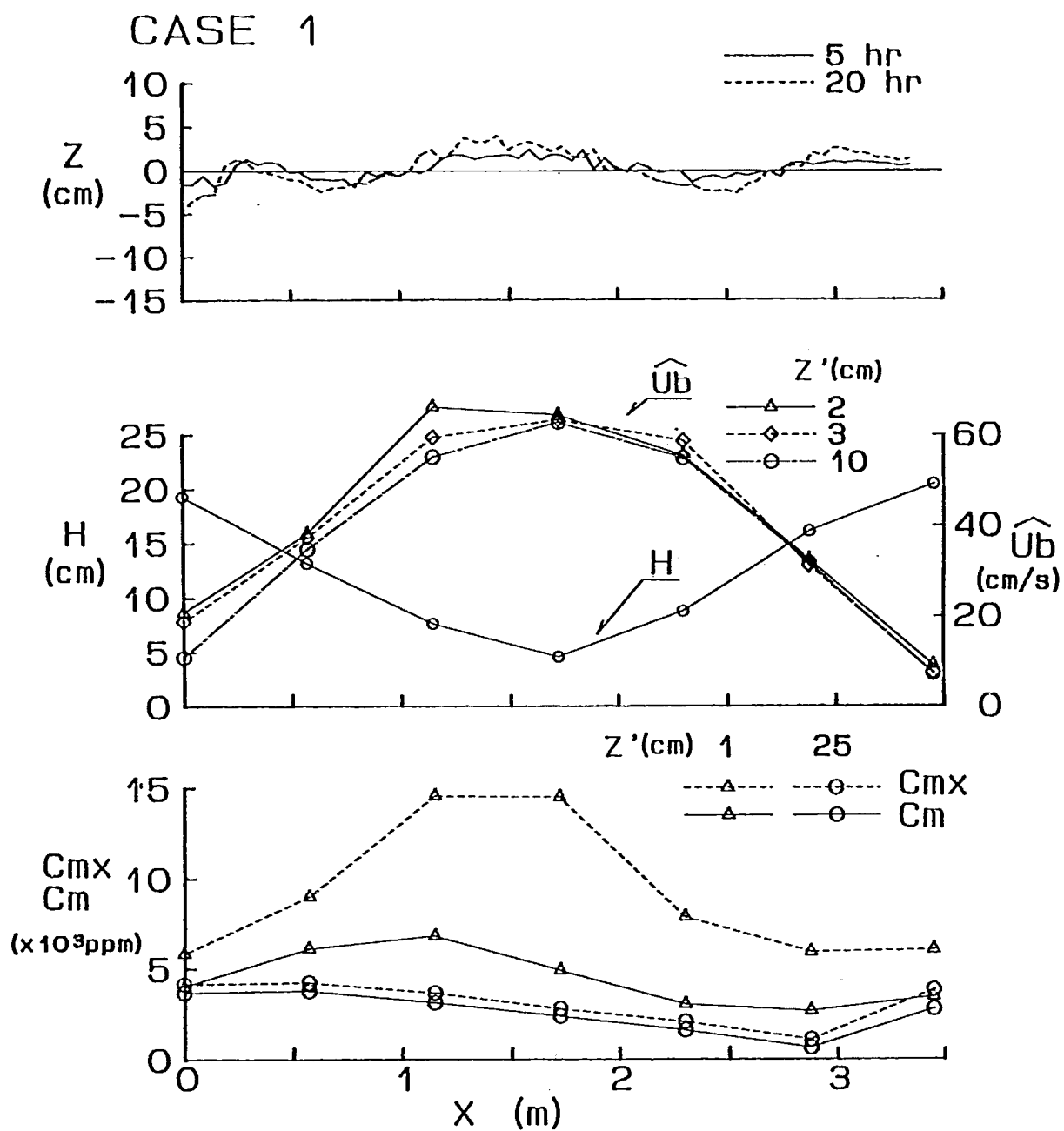


図-4.7 海底地形，波高，流速振幅，浮遊砂濃度の岸沖方向分布（ケース1）

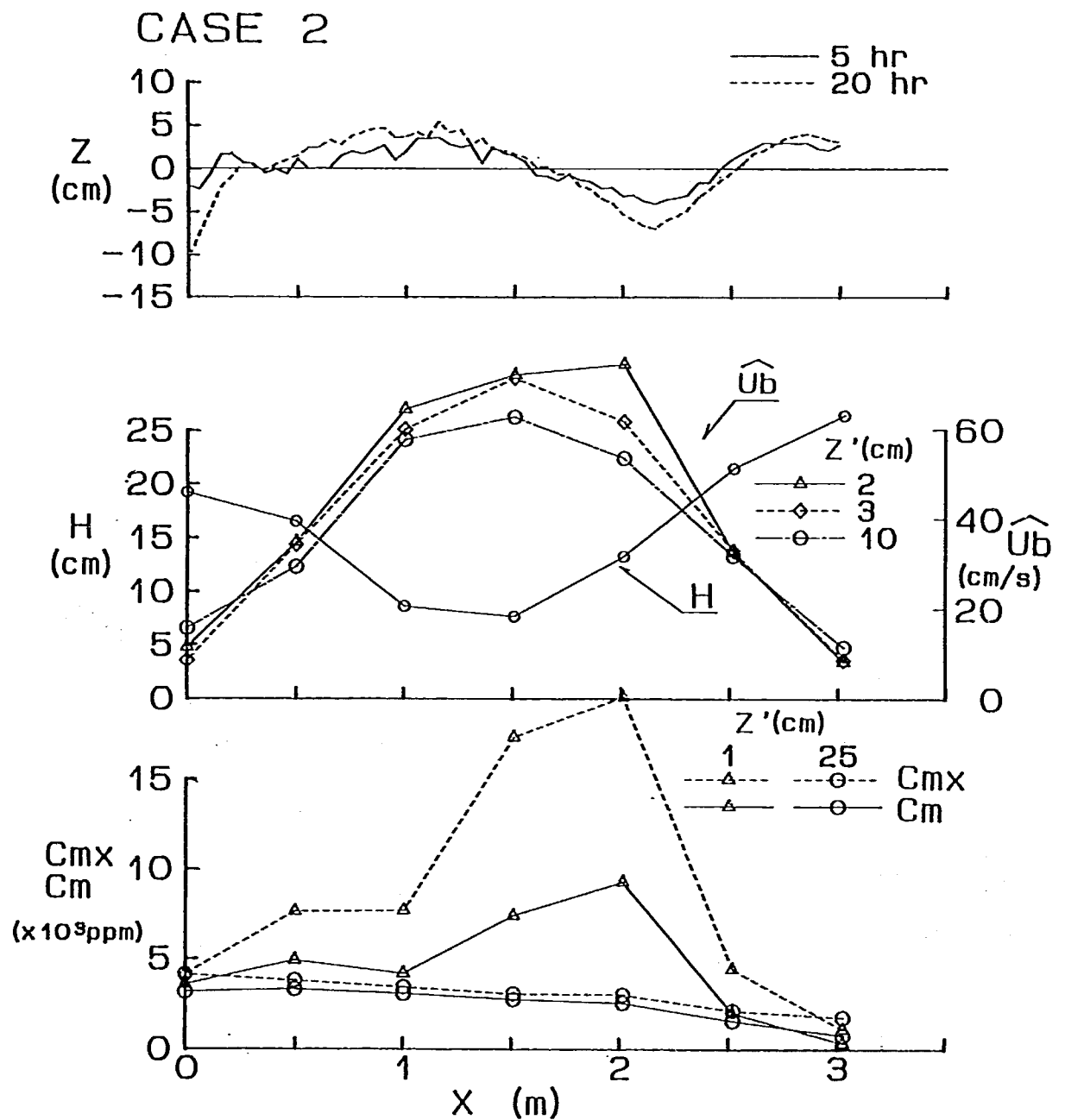


図-4.8 海底地形，波高，流速振幅，浮遊砂濃度の岸沖方向分布（ケース2）

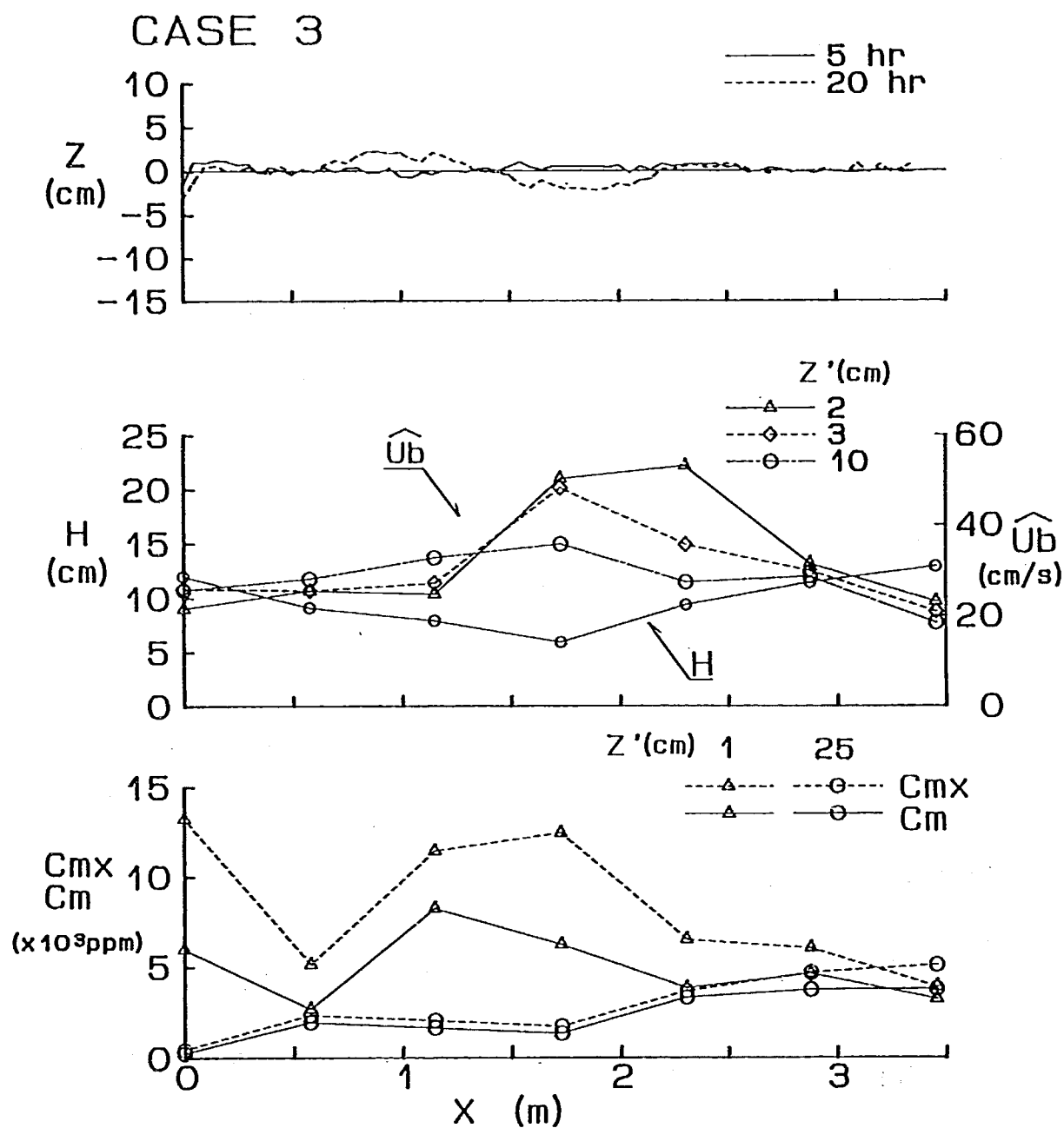


図-4.9 海底地形，波高，流速振幅，浮遊砂濃度の岸沖方向分布（ケース3）

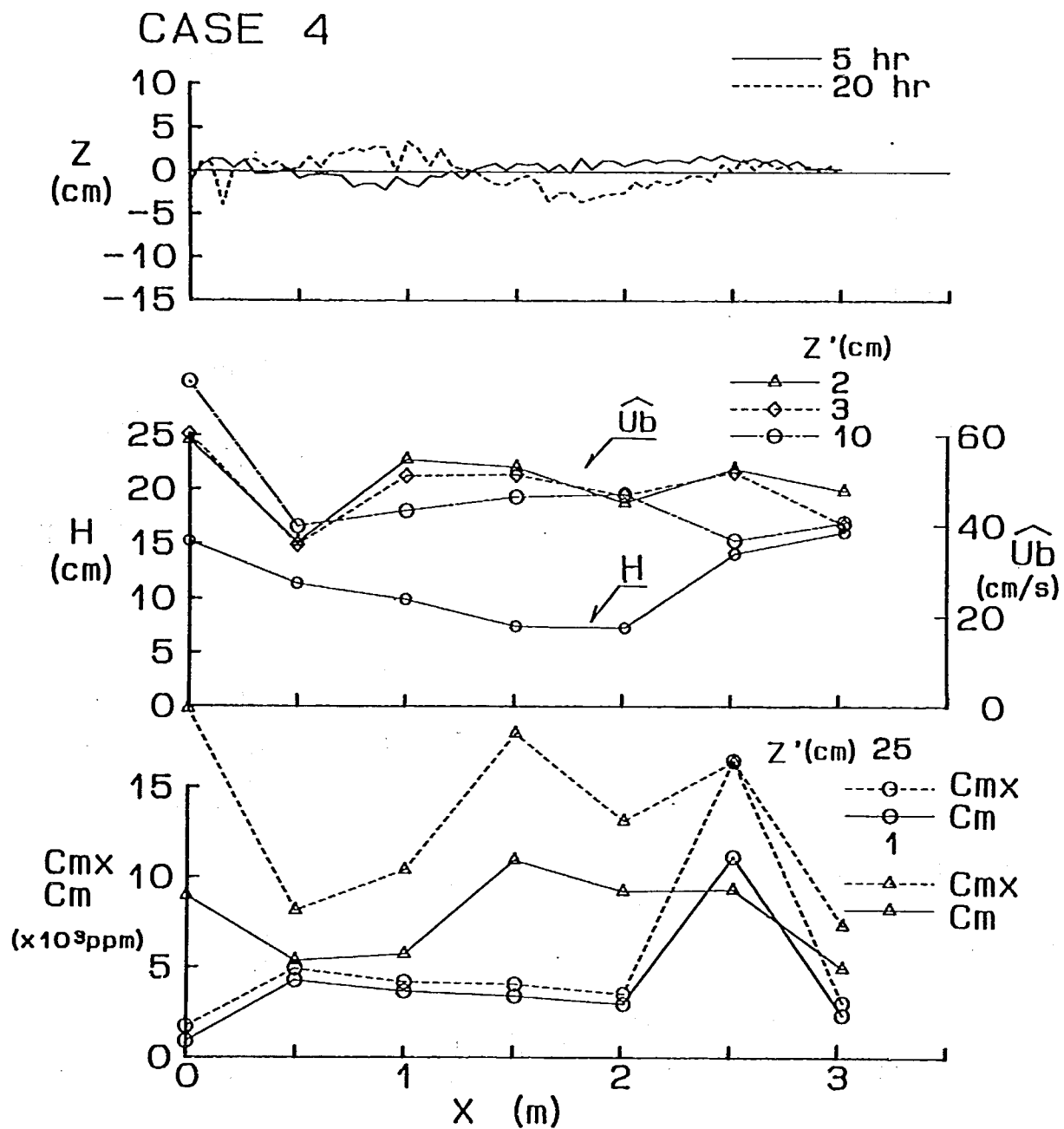


図-4. 10 海底地形，波高，流速振幅，浮遊砂濃度の岸沖方向分布（ケース 4）

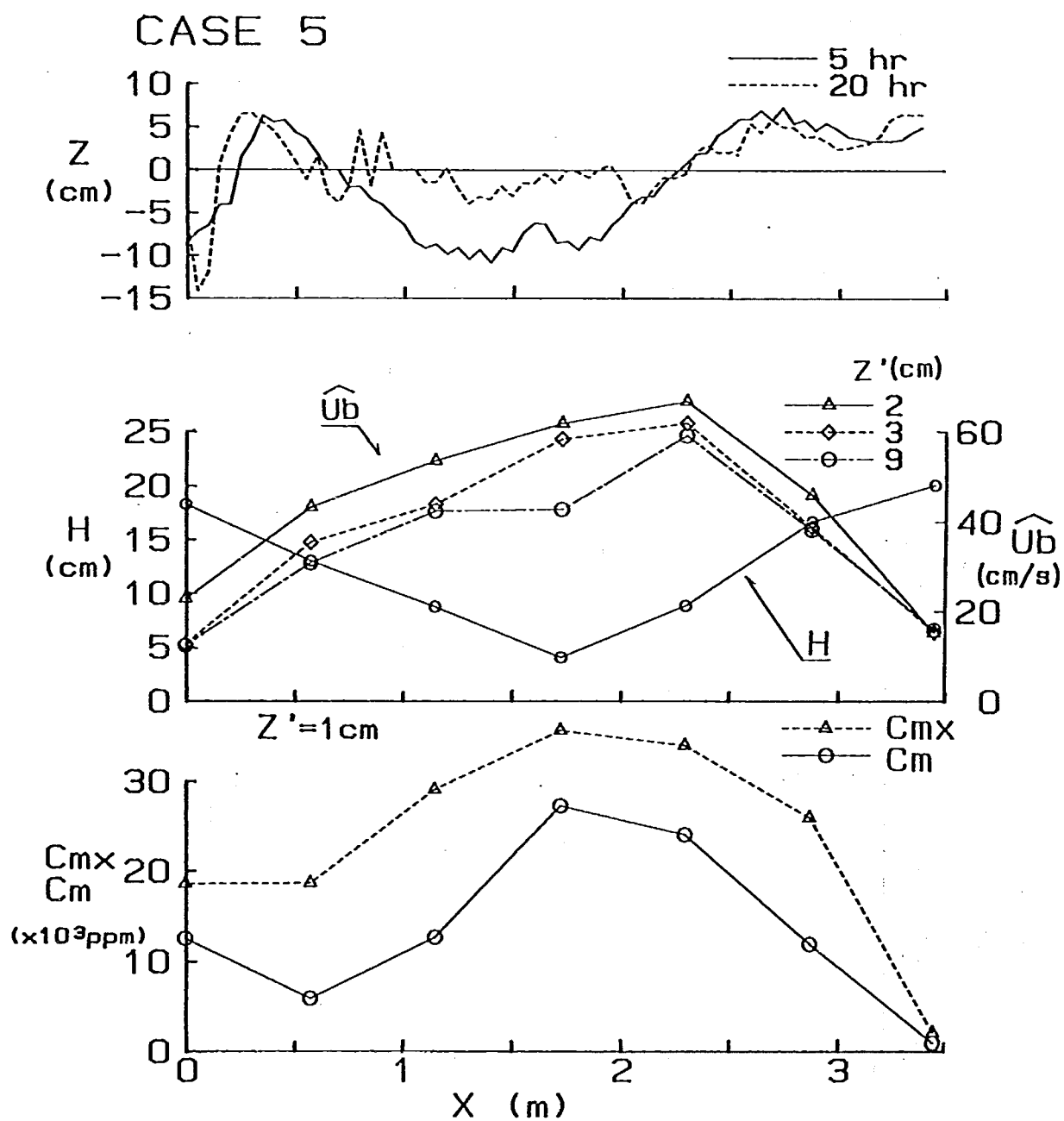


図-4.11 海底地形，波高，流速振幅，浮遊砂濃度の岸沖方向分布（ケース5）

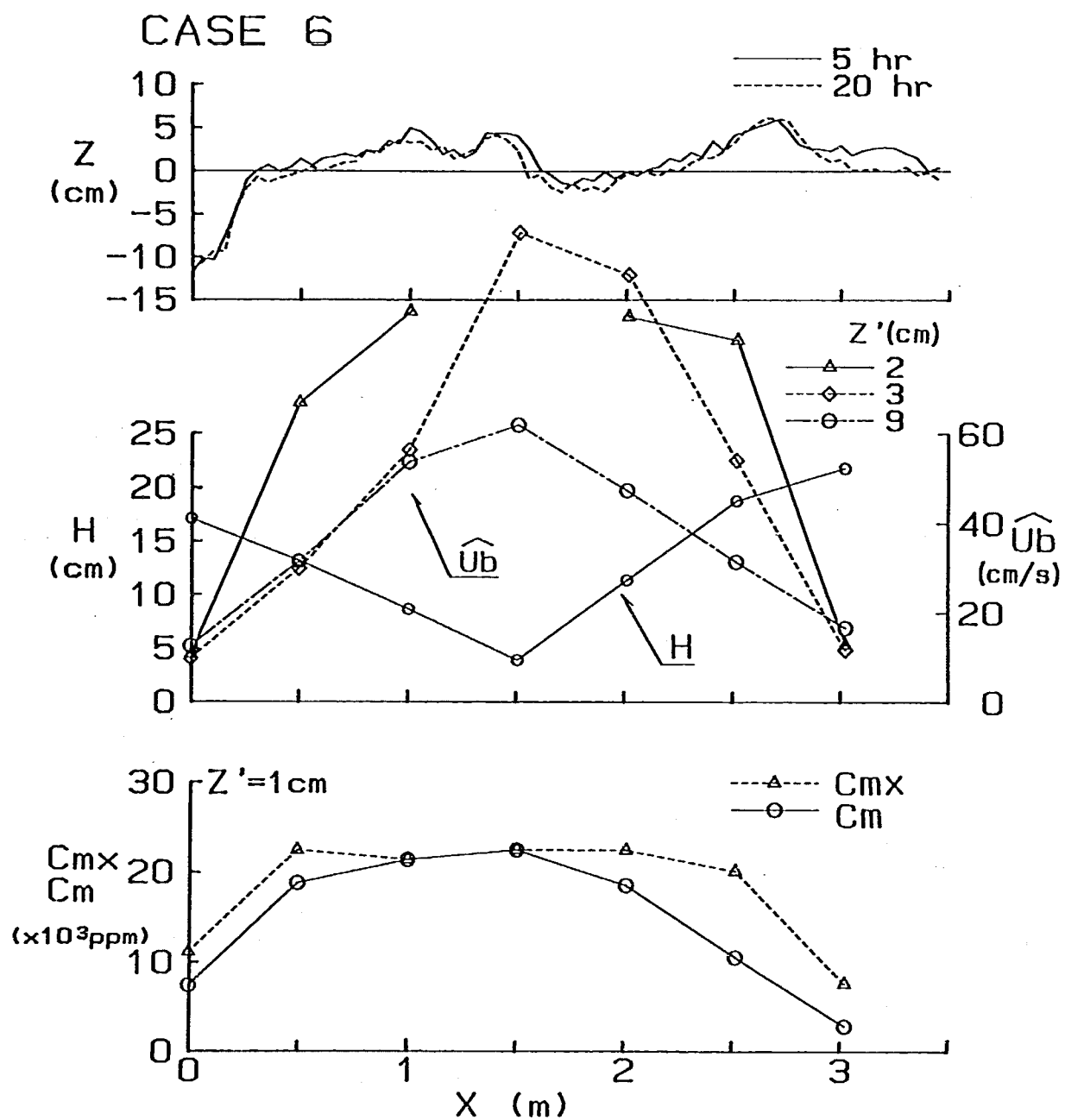


図-4.12 海底地形，波高，流速振幅，浮遊砂濃度の岸沖方向分布（ケース6）

次に、海底面より十分高い位置の濃度分布に着目する。 $Z'=25\text{cm}$ の C_m , C_{mx} は反射率の高いケース1 (図-4. 7), ケース2 (図-4. 8) では構造物からの距離とともに単調に減少しており, また構造物位置 ($X=0\text{m}$) での $Z'=1\text{cm}$ および 25cm の C_m , C_{mx} の差は小さい。これらの点は、構造物直下で巻き上げられた底質が $Z'\leq 25\text{cm}$ の範囲ではほぼ均一に浮遊し、沖に向かい拡散したことを示すと考えられる。一方、反射率の低いケース3 (図-4. 9), ケース4 (図-4. 10) では $Z'=25\text{cm}$ の C_m , C_{mx} の岸沖分布にケース1, 2のような傾向は見られない。また、構造物位置で $Z'=25\text{cm}$ の C_m , C_{mx} が小さいのは、前述のように空隙での通過流速が速くなったため、堤脚部で巻き上げられた底質の多くが透過側および反射側へと水平方向に拡散したためと考えられる。このように、底面より十分高い位置の濃度変化は空隙率、すなわち本実験では反射率によりかなり異なることが分かる。

4. 3 平均流速および漂砂量の鉛直分布

流速および浮遊砂濃度の測定結果よりEuler平均流速および漂砂量の鉛直分布を求めた。Euler平均流速 $\bar{U}$ は流速 $U(Z, t)$ の測定値の時間平均値として定められる。各測点の漂砂量 q は $U(Z, t)$ と濃度 $C(Z, t)$ より次式で算定できる。

$$q(Z) = \frac{1}{nT} \int_0^{nT} C(Z, t) \cdot U(Z, t) dt \quad (1)$$

ここに、 n は7~8の自然数である。 $\bar{U}$ と q の測線毎の鉛直分布を海底断面形とともに図-4. 13~4. 18に示す。なお、底質が石炭粉の場合のケース5 (図-4. 17), ケース6 (図-4. 18) では、底面近傍の $\bar{U}$ と q が欠測となっている。これは、底面近傍の濃度が非常に高く、流速、濃度の測定ができなかったことによる。

まず、底質が砂の場合 (図-4. 13~4. 16) について各測線毎に $\bar{U}$ と q の対応関係を調べると、ケース1の $X=1.15, 1.725\text{m}$, ケース2の $X=3.025\text{m}$, ケース4の $X=0\text{m}$ 測線では面者の分布形が異なるものの、他のほとんどの測線では、 $\bar{U}$ と q の鉛直分布形はかなり似ている。少なくとも、両者の方向は良い対応を示す。両者の方向が異なる測点では、軌道流速が平均流速の方向と逆の位相となったときに濃度が特に大きくなっていると考えられる。砂澁から剥離する渦の運動に伴い、底面近傍では1周期内で濃度変動する (例えば、Hayakawa et al., 1983)。このため、砂澁の規模が大きければその影響が底面からある程度高い位置にまで及ぶことも考えられる。しかし、本実験では、このような現象の生じた測線はわずかである。平均流速と漂砂の方向が全体的にはほぼ一致していることは、各測点の濃度に大きな時間変化がなく、次の近似式が成立することを意味する。

$$q(Z) \cong C_m(Z) \cdot \bar{U}(Z) \quad (2)$$

すなわち、漂砂量が平均浮遊砂濃度と平均流速との積によって表わされる。

一方、全てのケースにおいて構造物位置 ($X=0\text{m}$) での $\bar{U}$ は絶対値および変動量が大きい。この理由は次のように推定される。構造物位置では急激に波高が低下するため、波のトラフレベル上では岸向きの流体輸送が生ずると考えられること、また、局所洗掘による海底形状の変化が大きいことなどである。さらに、ケース4 (図-4. 16) では、構造物近くを除き平均流速がほとんど岸向きである。実験では、水路の水平床部を2等分し、片側に構造物模型を設置したため、仕切板を挟んだ循環流が形成された可能性がある。したがって、このケースにおける構造物近くの測線では、岸向きの流

CASE 1

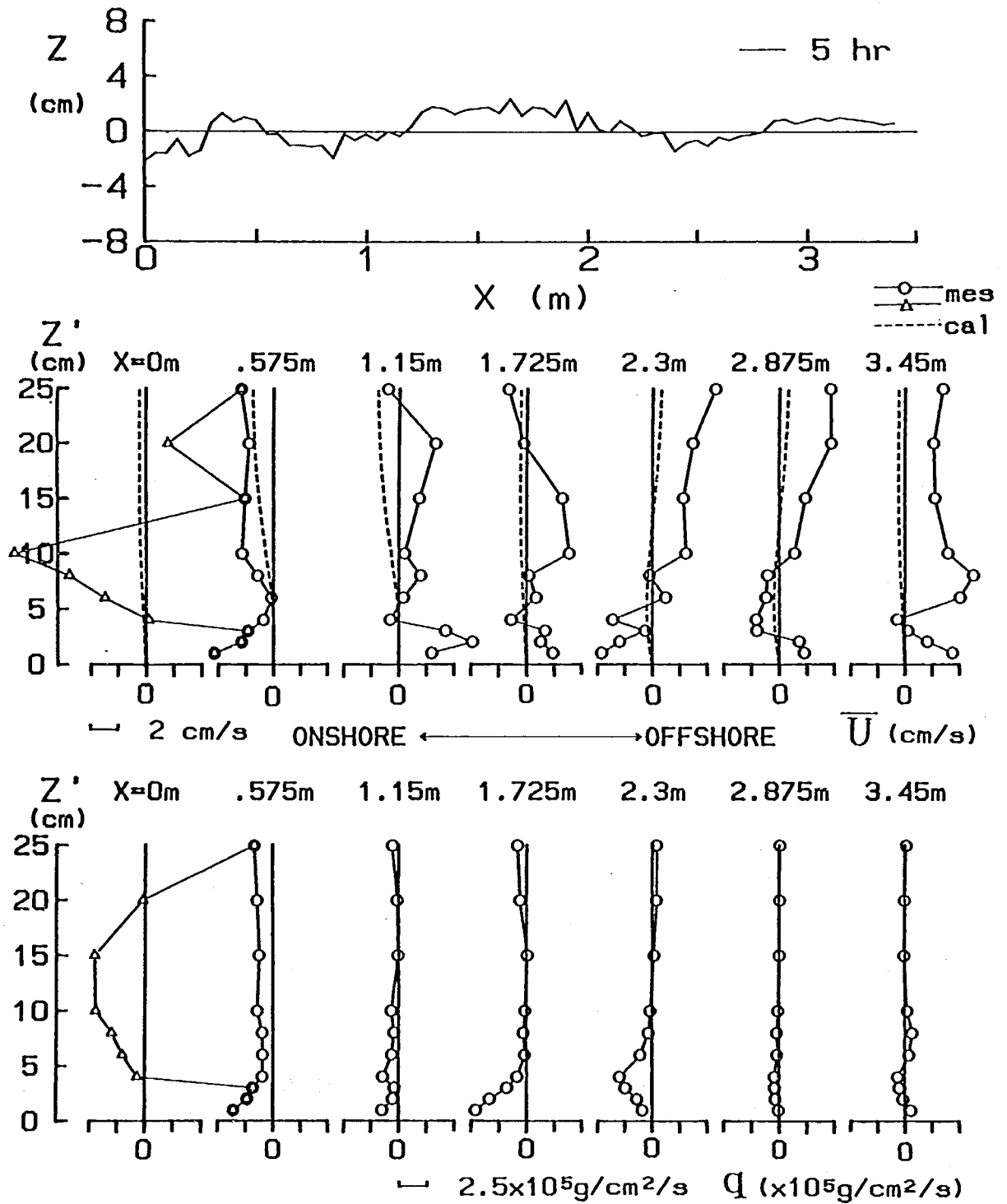


図-4.13 平均流速，漂砂量の鉛直分布（ケース1）

CASE 2

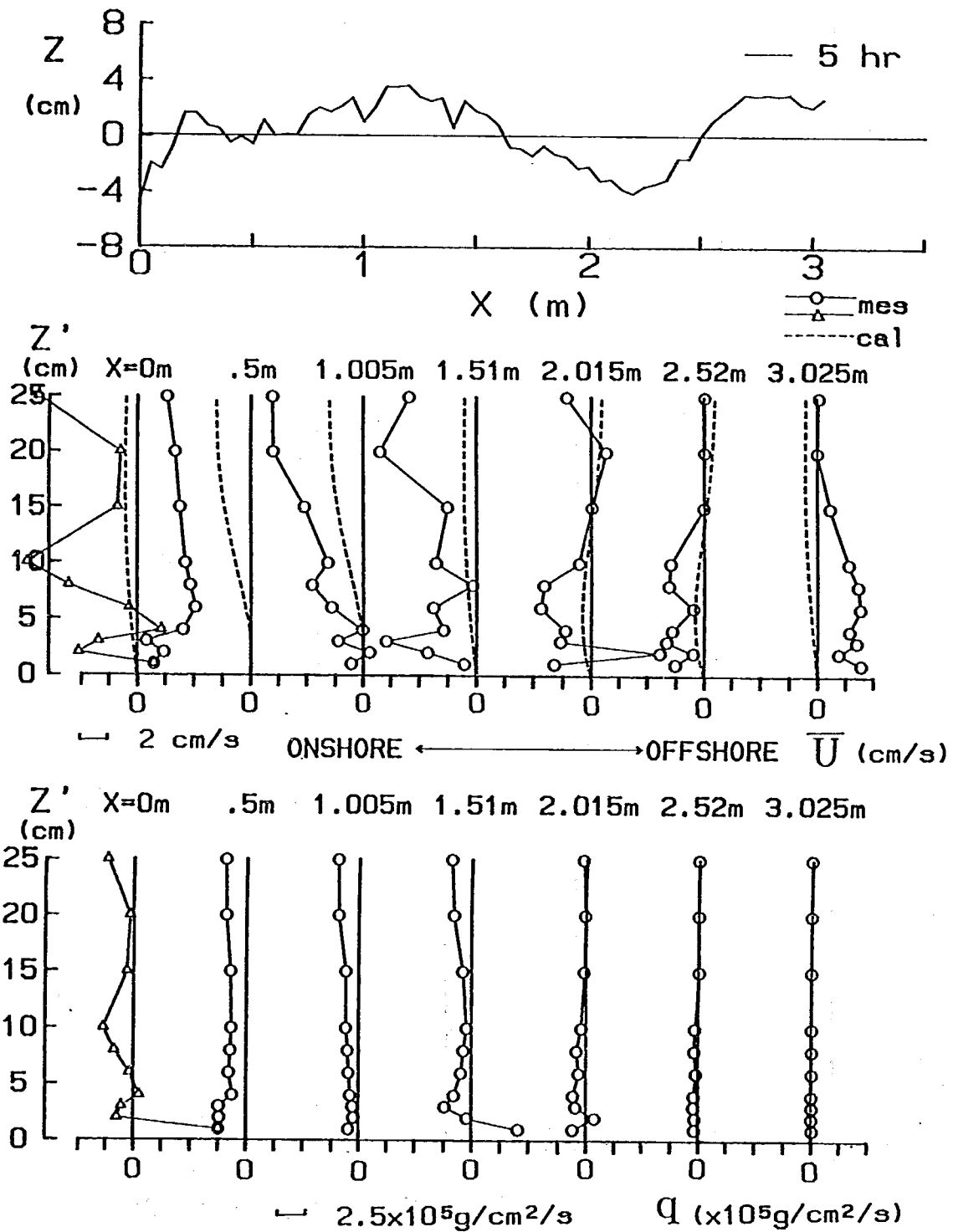


図-4. 14 平均流速, 漂砂量の鉛直分布 (ケース 2)

CASE 3

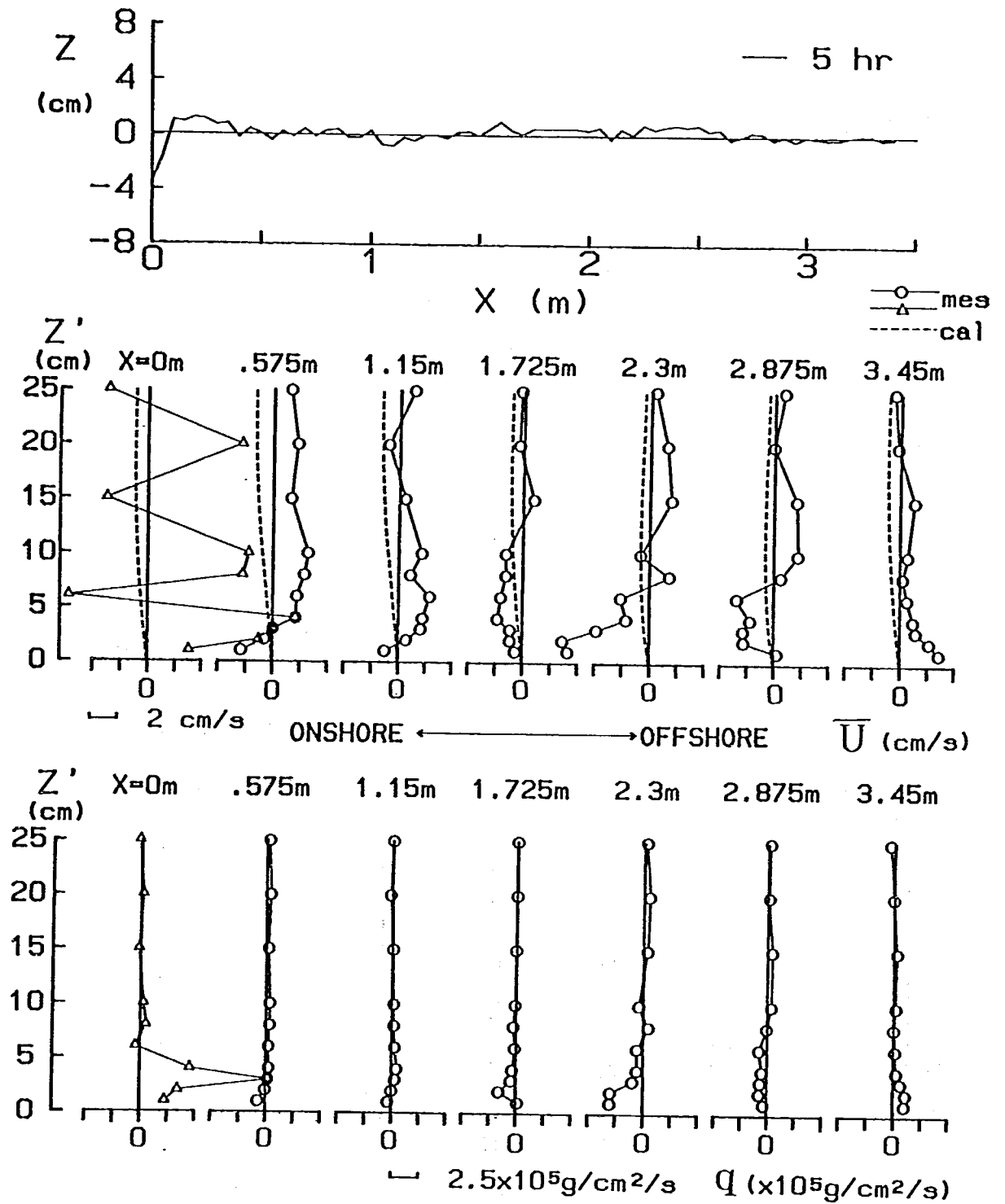


図-4. 15 平均流速, 漂砂量の鉛直分布 (ケース 3)

CASE 4

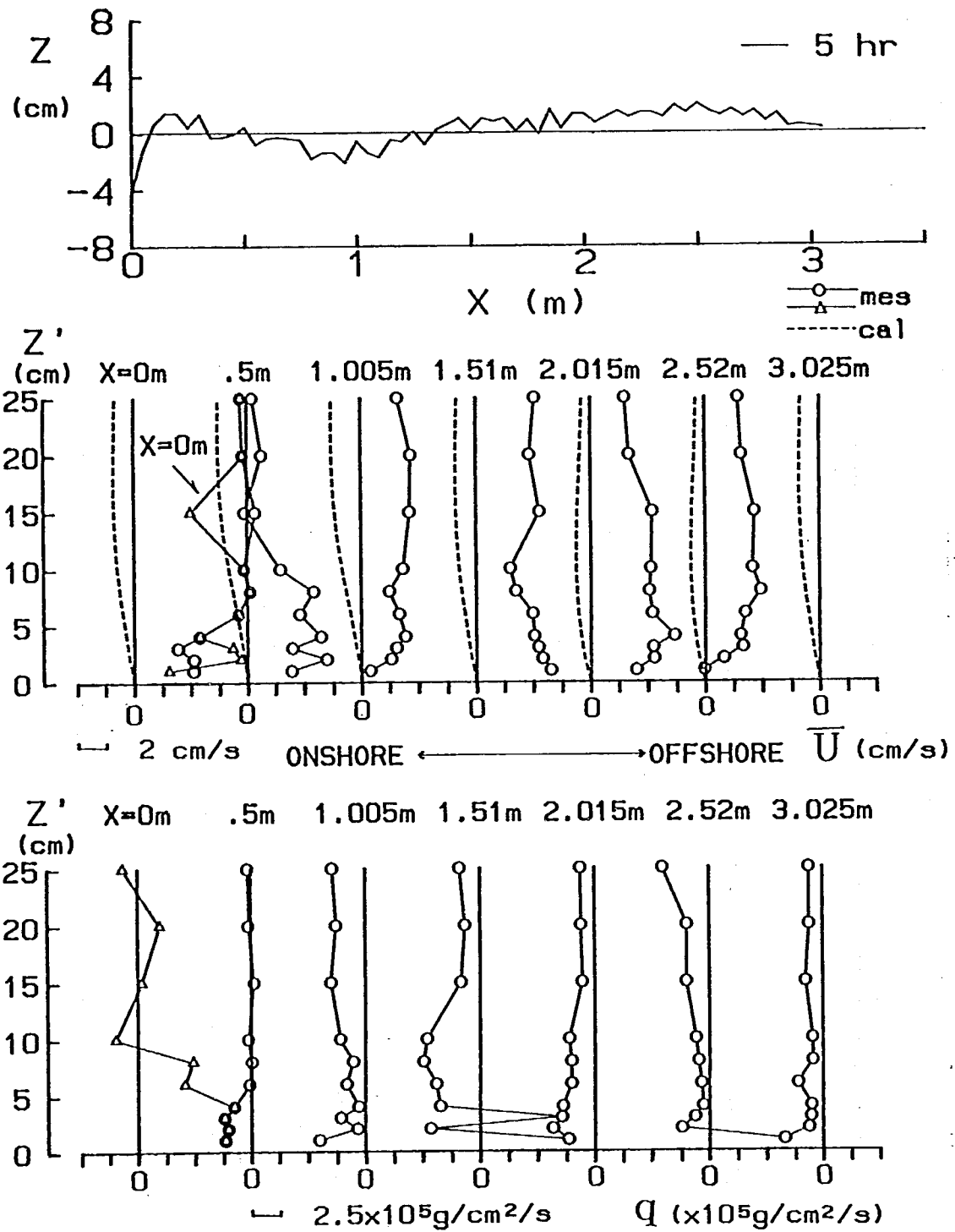


図-4. 16 平均流速，漂砂量の鉛直分布（ケース4）

CASE 5

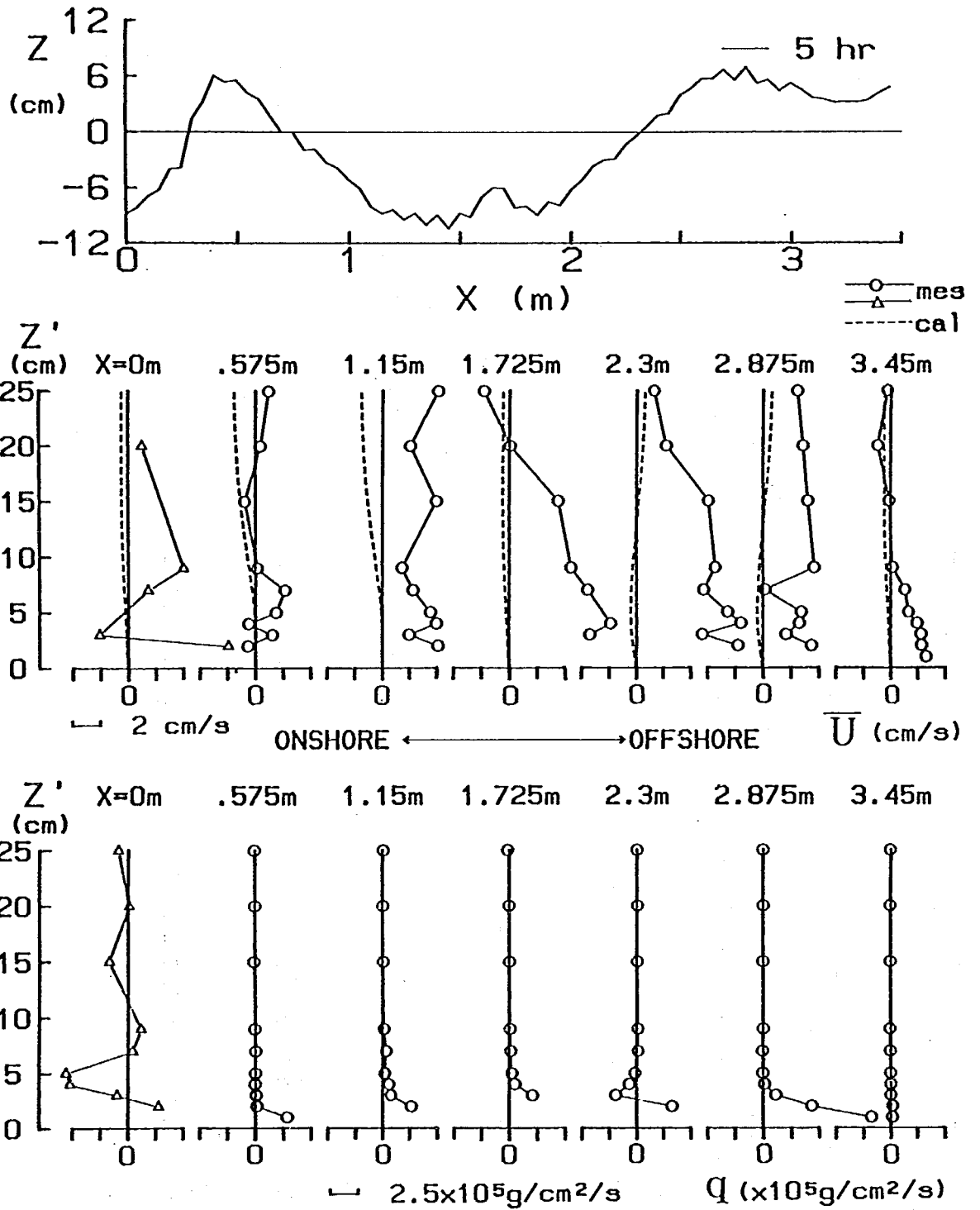


図-4.17 平均流速，漂砂量の鉛直分布（ケース5）

CASE 6

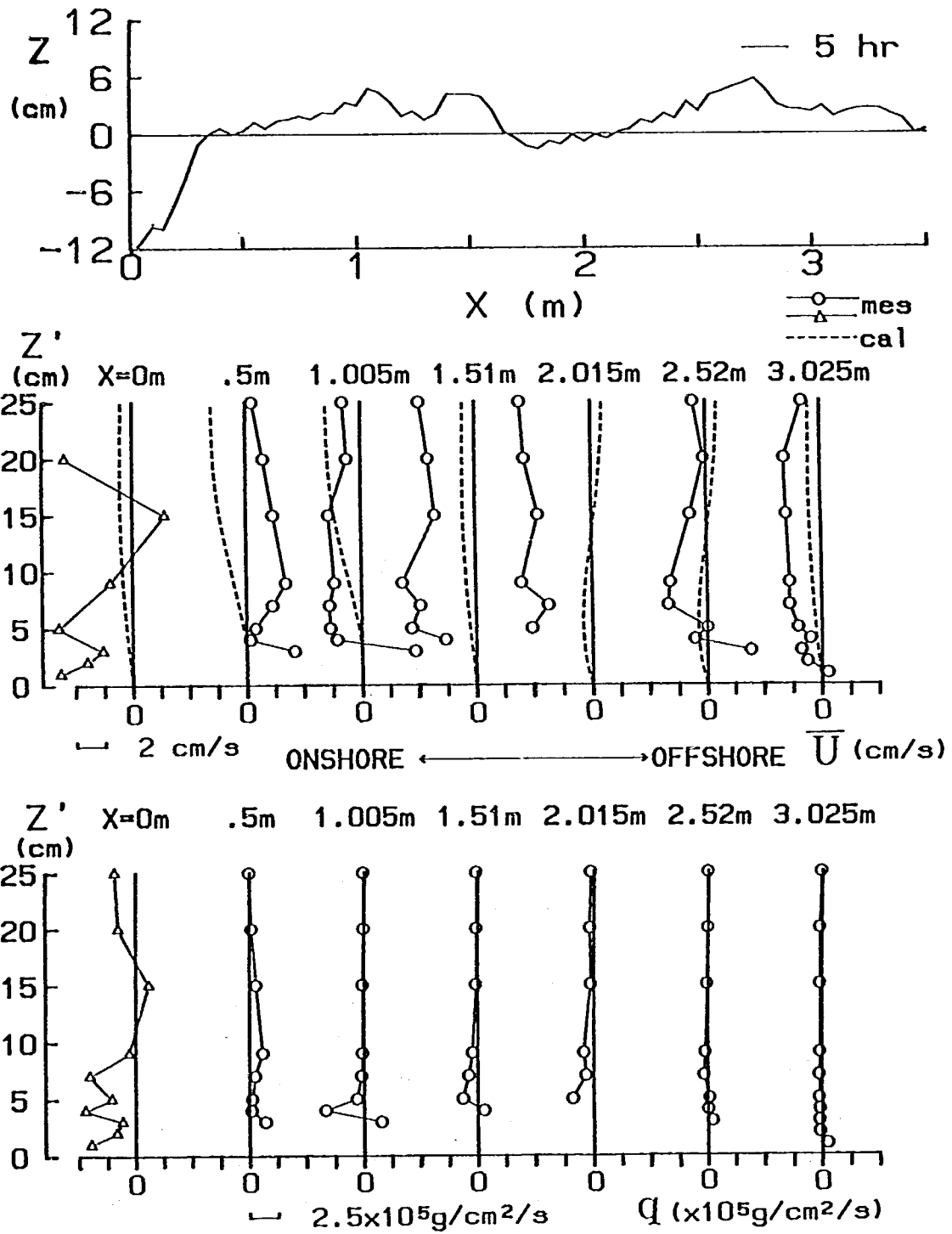


図-4.18 平均流速, 漂砂量の鉛直分布 (ケース 6)

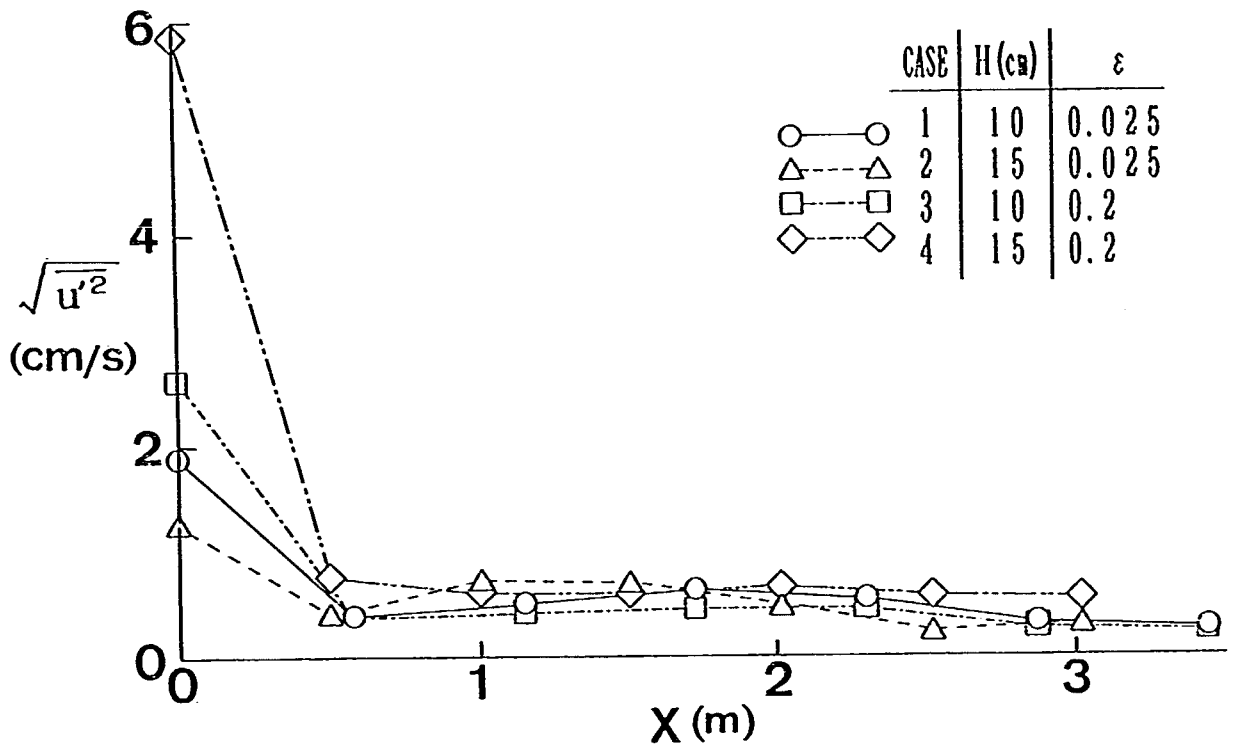


図-4. 19 乱れ強度 ($Z'=25\text{cm}$) の岸沖方向分布

れが水面付近に集中していると考えられる。

4. 4 構造物により発生する乱れの分布

構造物付近の浮遊砂濃度は構造物により発生する乱れの影響を受ける。そこで、 $Z'=25\text{cm}$ 位置の流速測定記録から求めた乱れ強度 $\sqrt{u'^2}$ (10Hz以下の流速変動と定義) の岸沖方向分布を調べた (図-4. 19)。流速測定に用いた超音波式流速計は 5 cm離れた 1 対の振動子間の平均的な流れを計測しているので、高周波の流速変動の測定精度に問題はあるものの、乱れ強度分布を定性的に把握することは可能である。図より乱れ強度は構造物近くで急激に減少することが分かる。したがって、構造物位置から拡散する浮遊砂の影響範囲は高々最初の節の位置までであると言える。また、構造物位置での乱れ強度は空隙率の大きなケース 3 と 4 で大きく、また、入射波高の高いケース 4 の乱れ強度はケース 3 のそれよりもかなり大きい。したがって、入射波高が高く空隙率の大きいケースほど構造物位置から浮遊砂が広く拡散し易いと考えられる。ただし、空隙率の大きなケースでは、浮遊砂が鉛直方向に高く巻き上がらないため、底面より十分に高い位置の浮遊砂濃度に与える構造物の影響はあまり大きくならない。

4. 5 地形変化機構の考察

以上の実験結果より地形変化機構を図-4. 20に示すフローにまとめた。沖合での波動場は岸沖方向にはほぼ対称と考えられるので、ここではNetの掃流砂は無視する。底面付近の浮遊砂濃度は波動運動に支配される。また、波動運動に伴い形成された砂澁が、底面付近の底質の浮遊、質量輸送速度に

影響する。一方、構造物近くでは、構造物直下で巻き上げられた底質が構造物より発生した乱れにより拡散し、浮遊砂濃度に影響する。さらに、構造物より発生する乱れおよび平均流の変化が、質量輸送速度に影響する。また、地形が変化すると、砂澁、底面付近の波動場、堤脚部での底質の浮遊状況に影響を生じ、その結果漂砂量が変化して最終的に地形が安定すると考えられる。

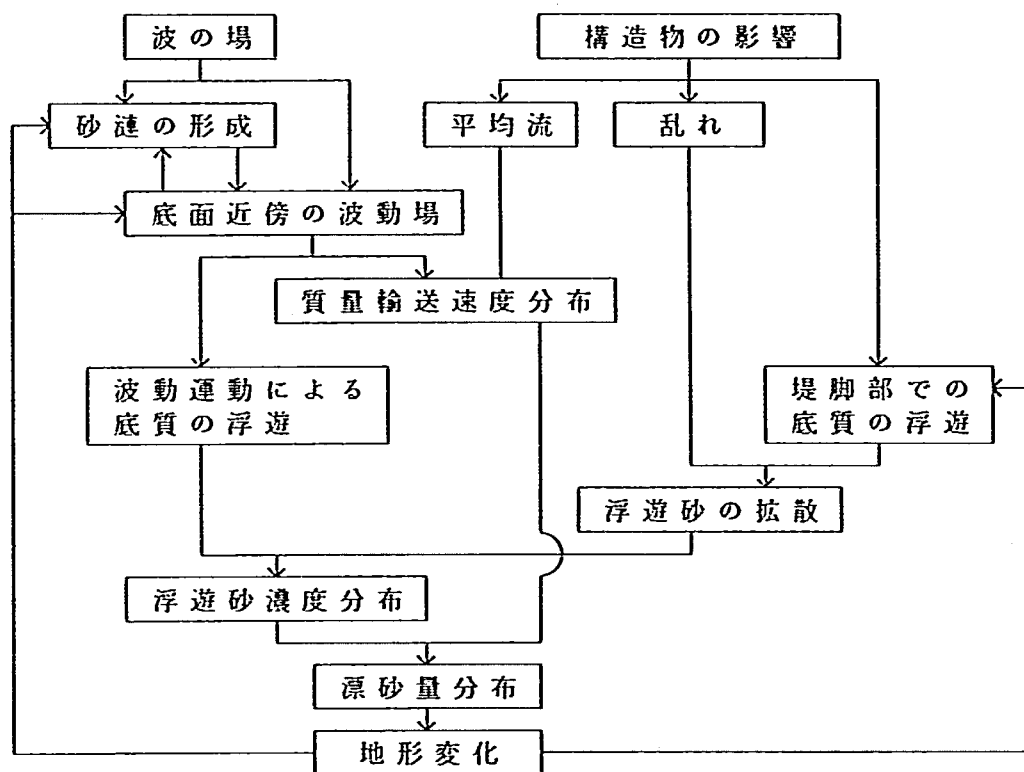


図-4.20 地形変化機構のフロー

5. 地形変化予測モデルの開発

5.1 地形変化予測モデル

実験結果をもとにして海底地形変化モデルを作成する。モデルでは漂砂量を式(2)より求め、連続式を用いて地形変化量を計算する。浮遊砂濃度は、位相変化を無視した時間平均浮遊砂濃度を対象として、波による底質の浮遊と構造物位置からの拡散を考慮し、両者を重ね合わせることで算定する。平均流速については鉛直分布形状のパターンのみに着目し、Longuet-Higgins (1953) の層流解を用い、実験で得られた平均流速分布と合うように動粘性係数 ν を調整する。したがって、本計算では野田(1970)の示した粗度の大きな場合に生じる逆転層の消失はないとする。

浮遊砂濃度 C_m は波動運動に伴う浮遊砂濃度 C_w と構造物の堤脚部で巻き上げられた底質の拡散により生ずる浮遊砂濃度 C_s の線形和として

$$C_m = C_w + C_s \quad (3)$$

と与える。また、 C_w の鉛直分布形の岸沖方向変化(図-4.1~4.4参照)を表現するために次式を仮定する。

$$C_w = C_{w0} \exp \{a \exp(-bZ')\} \quad (4)$$

C_{w0} は底面より十分高い位置の濃度を、 a は濃度勾配を、 b は濃度分布の屈曲点の高さを代表する係数であり、これらの係数が岸沖方向に変化することにより浮遊砂濃度の岸沖方向変化を表現することができる。

ところで、底質条件は一定であるから、浮遊砂濃度を与える砂漣形状の岸沖方向変化の影響が小さいと仮定すれば、 C_w は $\hat{U}b$ のみの関数とできる。また、構造物に最も近い節の位置より沖の浮遊砂濃度のデータには構造物の影響はあまり含まれていないと考えられるので、これらの位置の浮遊砂濃度は C_w 成分のみとなる。そこで、これらのデータを用いて式(4)の係数を $\hat{U}b$ の関数として決定する。ただし、ケース3では $Z'=25\text{cm}$ の濃度が $X=1.725\text{m}$ から沖に向うにしがい増加しており(図-4.9参照)、他のケースとは傾向が異なるため、ケース3のデータは除く。まず、 C_{w0} と $\hat{U}b$ の関係を図-5.1に示す。これにより次式が導かれる。

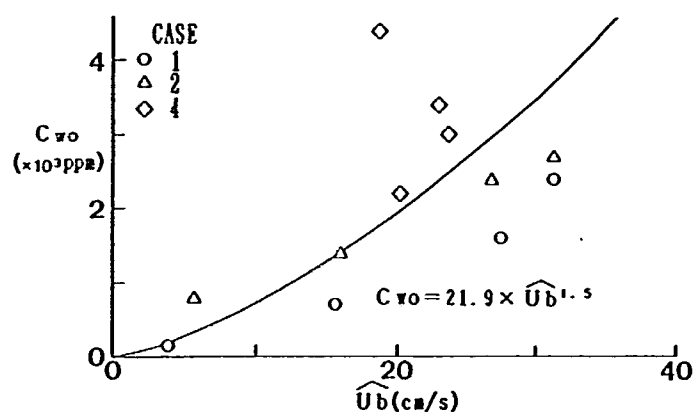


図-5.1 C_{w0} と $\hat{U}b$ の関係

$$C_{w0}(\text{ppm}) = 21.9\hat{U}b^{1.5}$$

さらに、実験結果と合うように係数 a , b を $\hat{U}b$ の関数として次のように定めた。

$$a = \sqrt{\hat{U}b}/6 : b = 16\sqrt{\hat{U}b} \times 10^{-2}$$

ただし、 $\hat{U}b$ の単位は cm/s である。

C_s の鉛直分布は実験結果より一定と仮定する(図-4. 1~4. 4参照)。 C_s は構造物からの浮遊砂の拡散によるものであるから、その岸沖方向分布は構造物周辺の乱れに関係する。乱れ強度の岸沖方向分布(図-4. 19)によれば、 $\sqrt{u'^2}$ は構造物近くで急激に減少することから、

$$\sqrt{u'^2} \propto \exp(-BX) \quad (5)$$

とおく。ここに B は定数である。浮遊砂の拡散係数 K_x は乱れ強度と混合距離の積に比例すると考え、混合距離を一定と仮定すれば(沢本ら, 1981),

$$K_x = A \exp(-BX) \quad (6)$$

となる。ここに A は定数である。これより定常一次元の拡散方程式

$$K_x \frac{dC_s}{dX} = -w_0 C_s \quad (7)$$

を解けば次式が得られる。

$$C_s = C_{s0} \exp \{-w_0/(AB) \cdot \exp(BX)\} \quad (8)$$

構造物位置での浮遊砂は堤脚部より巻き上げられたものであるから、 C_{s0} は主に堤脚部でのスリット間の間隙流速 V に支配されると考える。 V には林・服部(1966)が導いた次式を用いる。

$$V = \frac{\sqrt{2gK_r H}}{\sqrt{1-(C_c \epsilon)^2}} \quad (9)$$

ここに、 ϵ :スリットの空隙率、 K_r :反射率、 g :重力加速度、 C_c :流量係数($=0.6$)である。堤脚部での砂の巻き上げが間隙のみで生じ、巻き上げ量が V^2 に比例すると仮定すれば、

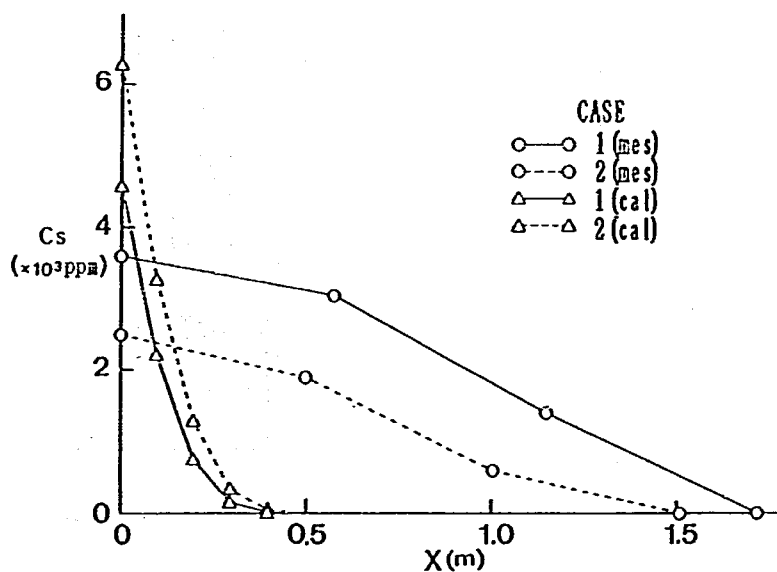
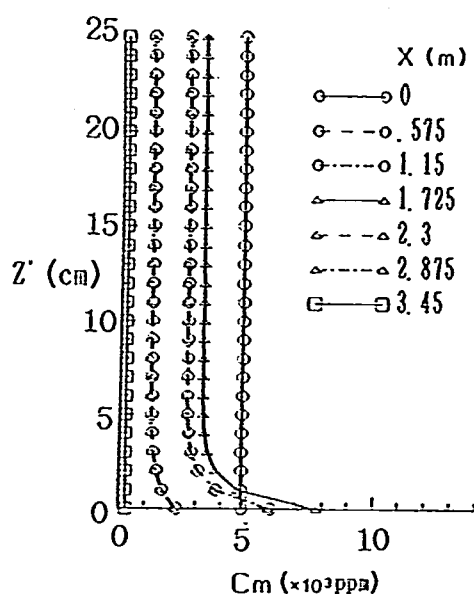


図-5. 2 C_s の岸沖方向分布

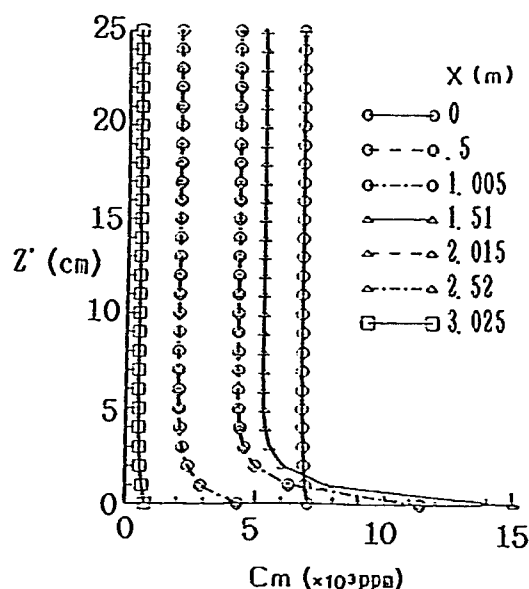
$$C_{s0}(\text{ppm}) = \alpha (V^2 / \epsilon) \quad (10)$$

となる。ここに、 α は定数である。構造物の影響は構造物に最も近接する重複波の節より沖には及ばないと考えられることから、節より沖側での濃度データは C_w のみと考えられる。このとき、節を中心に沖側の分布形を線対称に折り返せば節より岸側の C_w の分布形状が得られる。更に節より岸側の測定濃度から折り返した C_w を差し引くことにより C_s を推算できる。このようにしてケース1, 2について



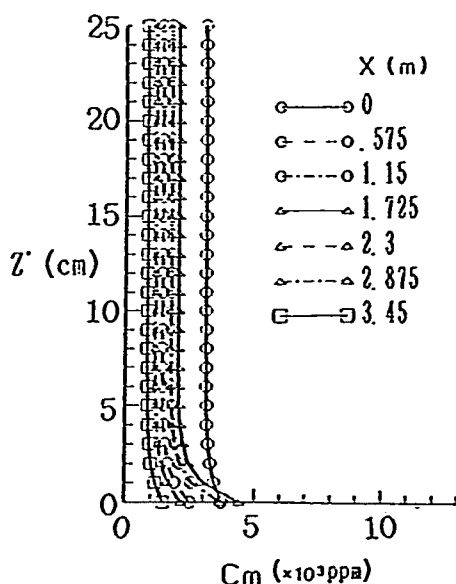
CASE 1

図-5.3 浮遊砂濃度の鉛直分布
(ケース1, 計算値)



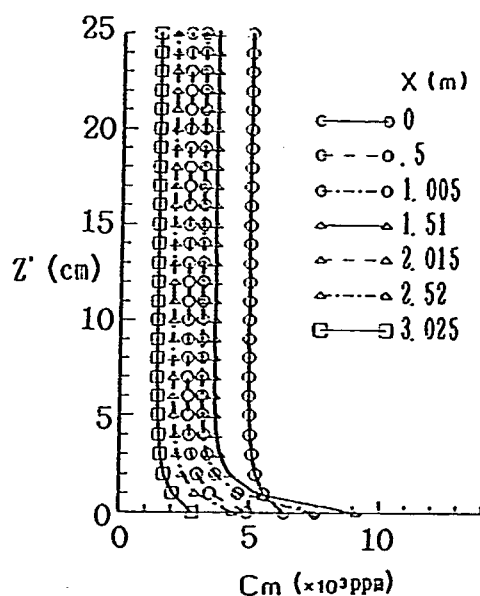
CASE 2

図-5.4 浮遊砂濃度の鉛直分布
(ケース2, 計算値)



CASE 3

図-5.5 浮遊砂濃度の鉛直分布
(ケース3, 計算値)



CASE 4

図-5.6 浮遊砂濃度の鉛直分布
(ケース4, 計算値)

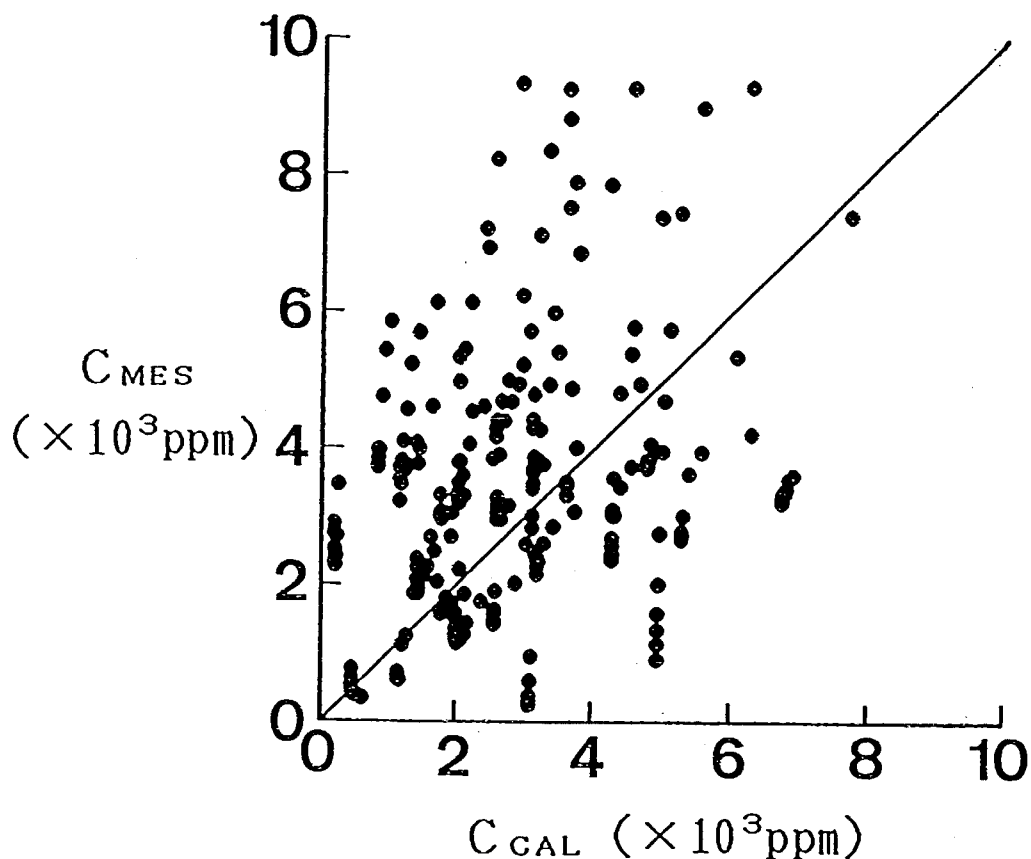


図-5.7 浮遊砂濃度の実験値と計算値の比較

$Z'=25\text{cm}$ の C_s の岸沖分布を推定した(図-5.2)。そして、これらの分布形を参考として式(8)、(10)の係数 A 、 B 、 α を定めた。なお、空隙率の大きな場合に空隙を通過する流速が大きく乱れ強度も大きくなることから、式(8)の B は反射率の関数とする。最終的に C_s は次式となる。

$$C_s(\text{ppm}) = 3.57(V^2/\epsilon) \cdot \exp \{-1.5 \exp(5.4 \cdot K_r \cdot X \times 10^{-2})\} \times 10^{-2} \quad (11)$$

ここに、 X の単位は cm である。結局、浮遊砂濃度は $C_m = C_w + C_s$ として次式で表わされる。

$$C_m(\text{ppm}) = 21.9 \hat{U}b^{1.5} \cdot \exp \{ \sqrt{\hat{U}b}/6 \cdot \exp(-16 \sqrt{\hat{U}b} \times 10^{-2} \cdot Z') \} \\ + 3.57(V^2/\epsilon) \cdot \exp \{-1.5 \cdot \exp(5.4 \cdot K_r \cdot X \times 10^{-2})\} \times 10^{-2} \quad (12)$$

ここに、 $\hat{U}b$ と V は cm/s 、 X と Z' は cm 単位である。この式より求めた浮遊砂濃度の鉛直分布を図-5.3～5.6に示す。さらに、各測点での実験値と計算値を図-5.7に示す。図-4.1～4.4および図-5.3～5.6の比較により明らかなように、式(12)は実験での浮遊砂濃度の岸沖変化の状況を良く再現しているとともに、ばらつきは多いものの定量的にもほぼ妥当な値を与えることが分かる(図-5.7参照)。

平均流速に関しては、波動場における平均流は質量輸送により与えられるため、質量輸送速度を用いることが考えられる。しかし、この場合には浮遊砂の運動が流体と同一であるという仮定が必要となる。ことような点から、式(2)に基づいて漂砂量を算定する場合、質量輸送速度を用いる妥当性は今

のところ明らかでないため、ここでは Longuet-Higgins による次の Euler 平坂流速の理論解を用いることにする。

$$\begin{aligned} \bar{U} = \frac{k\omega D^2}{\sinh^2 kh} \{ (1-Kr^2) [(-\cos \xi + \frac{1}{2}\sin \xi) e^{-\xi} - \frac{1}{2}(\cos \xi + \sin \xi) \xi e^{-\xi} + \frac{1}{4}e^{-2\xi} + \frac{3}{4}] \\ + 2Krsin2kX [-(\frac{1}{2}\cos \xi + 2\sin \xi) e^{-\xi} + \frac{1}{2}(\cos \xi - \sin \xi) \xi e^{-\xi} - \frac{1}{4}e^{-2\xi} + \frac{3}{4}] \} \end{aligned} \quad (13)$$

ここに、 $\xi = Z/\sqrt{2}\zeta$, $\zeta = (\nu T/2\pi)^{\frac{1}{2}}$, $k = 2\pi/L$, $\omega = 2\pi/T$, D : 振幅, L : 波長, T : 周期である。計算においては式中の ν をそのまま渦動粘性係数と置いて、Euler 平均流速の測定結果と理論解とを比較し、分布パターンが合うように $\nu = 50 \text{ cm}^2/\text{s}$ に設定する。計算による Euler 平均流速を図-4.13~4.18 に破線で示す。ここでは、流向に着目して層流解を準用しているが、ケース 1 (図-4.13) の $X = 0.575\text{m}, 2.3\text{m}, 2.875\text{m}$, ケース 2 (図-4.14) の $X = 1.005 \sim 2.52\text{m}$ では分布形状、流速の逆転状況が比較的良く一致している。また、ケース 4, ケース 6 の沖側の測線では、一方向流が重なった流速分布になっている。これは、仕切り板を設けたことにより循環流が生じたためと考えられる。この点を考慮して、計算値に一樣流速を重ねてみると、実験と計算の分布形はパターンはかなり類似する。また、ほとんどのケースで構造物近くの平均流速は計算より大きくなるか向きが逆となっている。これは、構造物の影響に伴う 2 次流の発生により、波による平均流速場に変化が生じたためと考えられる。

漂砂量 Q は $C_m(Z)$ と $\bar{U}(Z)$ の鉛直積分より

$$Q = \frac{1}{(\rho_s - \rho_w)g(1-\lambda)} \int_0^h \bar{U}(Z) \cdot C_m(Z) dZ \quad (10)$$

となる。ここに、 ρ_s , ρ_w : 底質および水の密度, λ : 底質の空隙率である。したがって、地形変化は以下の連続式により計算される。

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial X} = 0 \quad (11)$$

ここに、 t は時間である。数値計算では式(11)を差分法により解く。

5.2 計算値と実験値の比較

計算は底質が砂のケースについて行った。ケース 1~4 の構造物沖合の地形変化を図-5.8~5.11 に示す。実現象では地形変化に伴い漂砂量が減少し、地形はある時間の後には安定する。一方、本モデルでは漂砂量を定常としているため、地形の安定化機構は含まれていない。したがって、ここでは地形変化の傾向のみを検証する。ケース 1 では、 $X > 5\text{m}$ に注目すると侵食・堆積の状況が実験値と良く一致している。一方、 $X < 5\text{m}$ では、侵食・堆積区域の位置が一致せず、計算値は実験値を約 1 m 岸方向にずらした形状となっている。このような差異が生じた原因としては、構造物の影響により平均流速場が変化したこと、浮遊砂濃度と平均流速の鉛直分布の関係が、実験値と計算値とで微妙に異なることなどが考えられる。

ケース 2 の計算結果は、 $X = 2 \sim 6\text{m}$ の範囲で実験による地形変化の傾向とかなり良く一致している。 $X > 6\text{m}$ の範囲の実験値には、移動床端部の影響が及んでいると考えられる。また、 $X < 2\text{m}$ の範囲では実験と計算で生じた侵食域に差があるが、これはケース 1 と同様の理由によると考えられる。

空隙率の大きなケース3, 4では, 構造物近くの局所洗掘が再現されなかった。ケース3では空隙率が大きいため特に構造物位置での流速振幅が大きい。この点により, 構造物直下での局所的な底質の浮遊が計算で過小評価され, 局所洗掘が再現されなかったと考えられる。さらに, 計算モデルでは考慮されていない構造物によるEuler平均流速場の変化も無視できなくなり, 計算値と実験値との差が大きくなったと考えられる。

反射率, 波高ともに低いケース3での実験の地形変化は, 実験結果で述べたようにL-タイプともN-タイプとも判別しがたい地形変化を生じており, この結果実験と計算との一致度は全体的に低くなっている。

ケース4では, 地形変化の計算結果は $X < 4$ mで局所洗掘を除き実験結果とよい対応を示す。一方, $X > 9$ mの移動床端部では, 端部の影響で著しい侵食を生じており, この影響が移動床中央部近くにまで及んでいるので, $X > 4$ mでは実験と計算とが一致しないものと考えられる。

以上に述べた実験結果と計算結果の比較によると, 特に構造物近くでの計算モデルの再現性が低い。この原因は, 特に構造物近くの平均流速の予測精度が劣ることにある。一方, 構造物近くを除く沖合の地形変化傾向は再現することが可能である。また, 構造物の消波機能と平均流速場の変化を関連づけるとともに浮遊砂濃度の鉛直分布などを改良すれば, 地形変化の予測精度を向上させることが可能と考えられる。さらに, 空隙率の大きな場合に関しても, 構造物直近の局所的な浮遊砂濃度の増加を精度良く見積もることにより改良可能と考えられる。

5.3 モデルの問題点と今後の検討課題

これまでの検討によれば, 次の問題点および課題が指摘される。

- ①実験と計算の地形変化の傾向をさらに一致させるには, 平均流速場への砂澁や乱流境界層の影響を考慮する必要がある。
- ②実験では地形変化に伴い漂砂量が時間的に変化して地形が安定化するが, 計算にはこのフィードバック機構は取り込まれていない。したがって, 漂砂量の時間的な変化を生ずる機構を明らかにしなければならない。
- ③計算に用いた濃度分布は実験結果のみから導いた実験式であるため, 今後においては汎用性のある浮遊砂濃度分布算定式を導く必要がある。波による浮遊砂の濃度分布算定式に関してはNielsen (1981), 沢本ら (1981) 等の研究があるが, これらの研究で提案されている浮遊砂濃度分布算定式の現地海岸への適用性を検討する必要がある。また, 砂澁の岸沖方向変化を考慮するためには, 砂澁形状が底質の浮遊に及ぼす影響も取り込む必要がある。
- ④構造物近傍では, 構造物の影響により生じる平均的な流れおよび乱れが漂砂量に与える影響が強い。したがって, これらの影響を取り込んで漂砂量の非平衡性を評価する必要がある。また, 構造物の影響は構造物の型式, 堤脚部の構造毎に異なると考えられるので, 構造物の影響を一般的に評価するためには, 型式毎の平均的な流れの変化や乱れの発生に関する特性を把握する必要がある。また, 堤脚での床質の浮遊を構造物の型式毎にモデル化する必要がある。
- ⑤漂砂量の算定に当たって, 時間的に平均化した流速と濃度の積を用いる式(2)の成立条件を求める必要がある。さらに, 漂砂量を算定する際に用いる平均流速を浮遊砂の運動特性との関係において検討する必要がある。

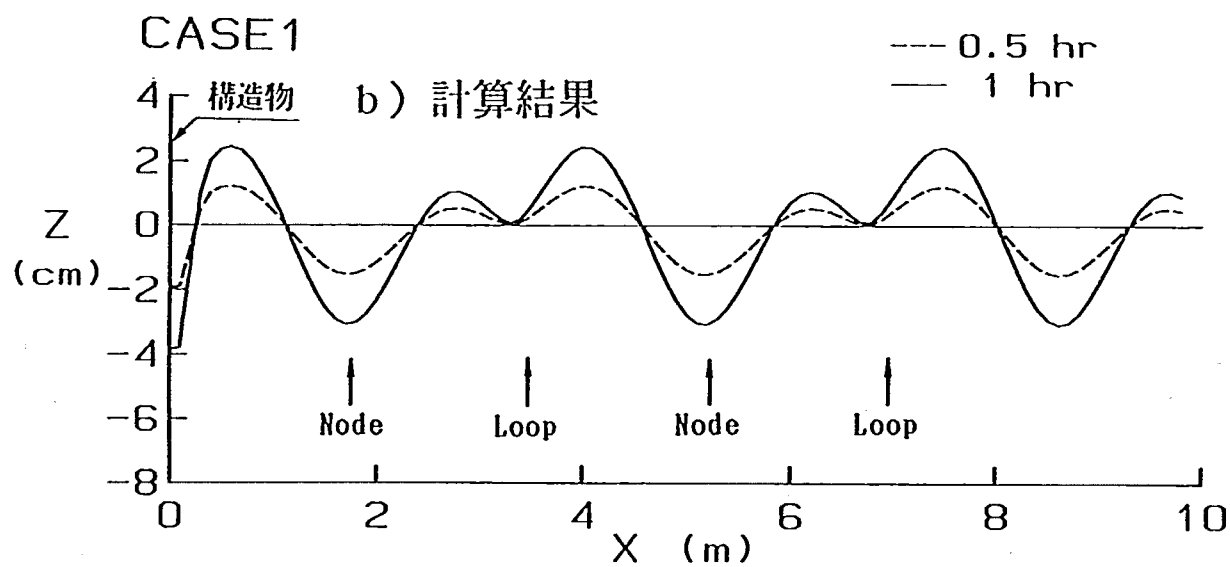
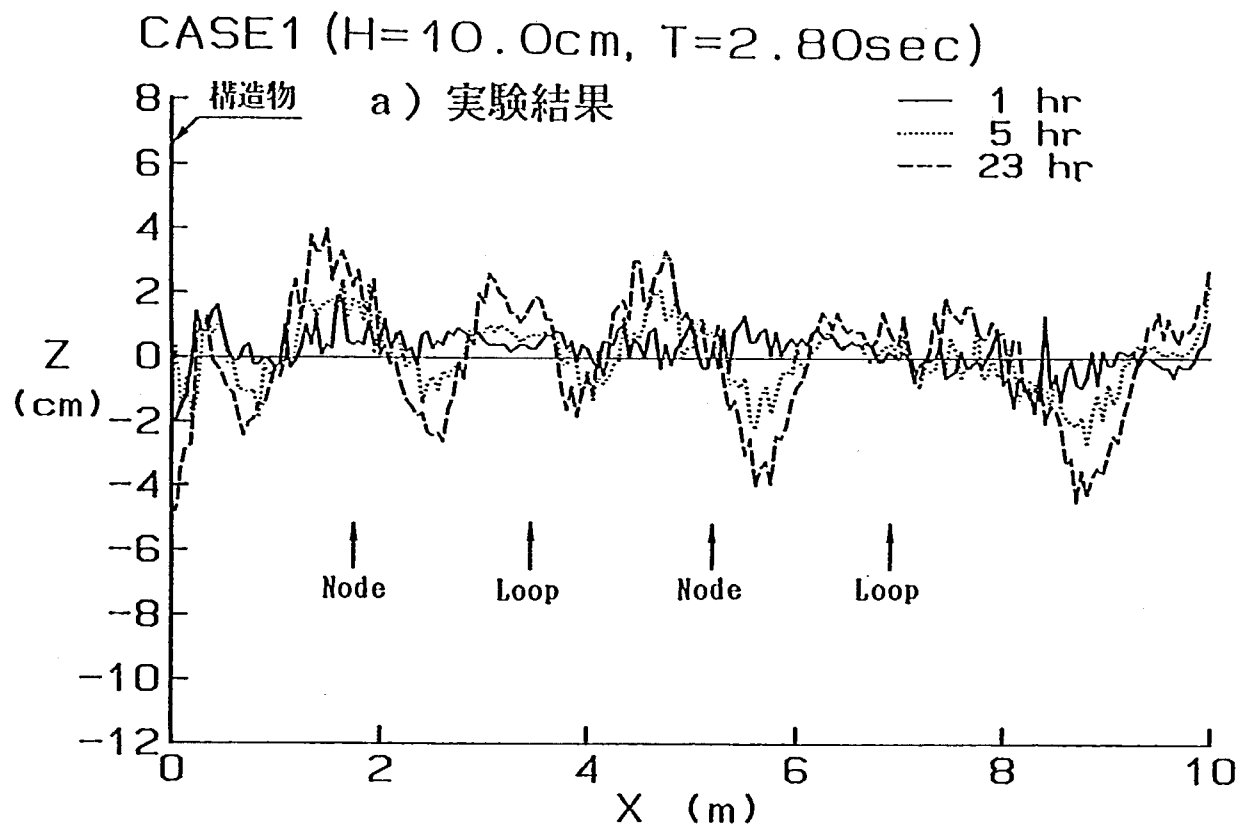


図-5.8 海底断面形の変化 (ケース1)

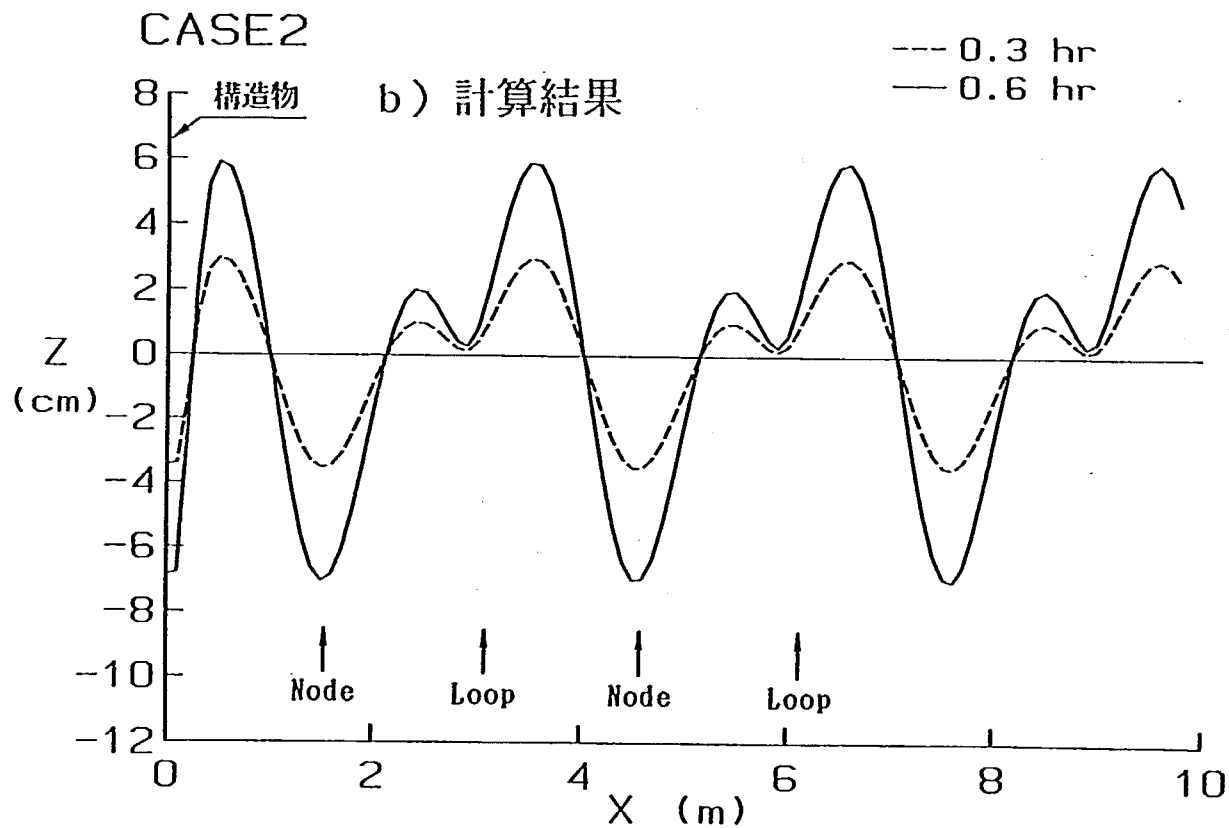
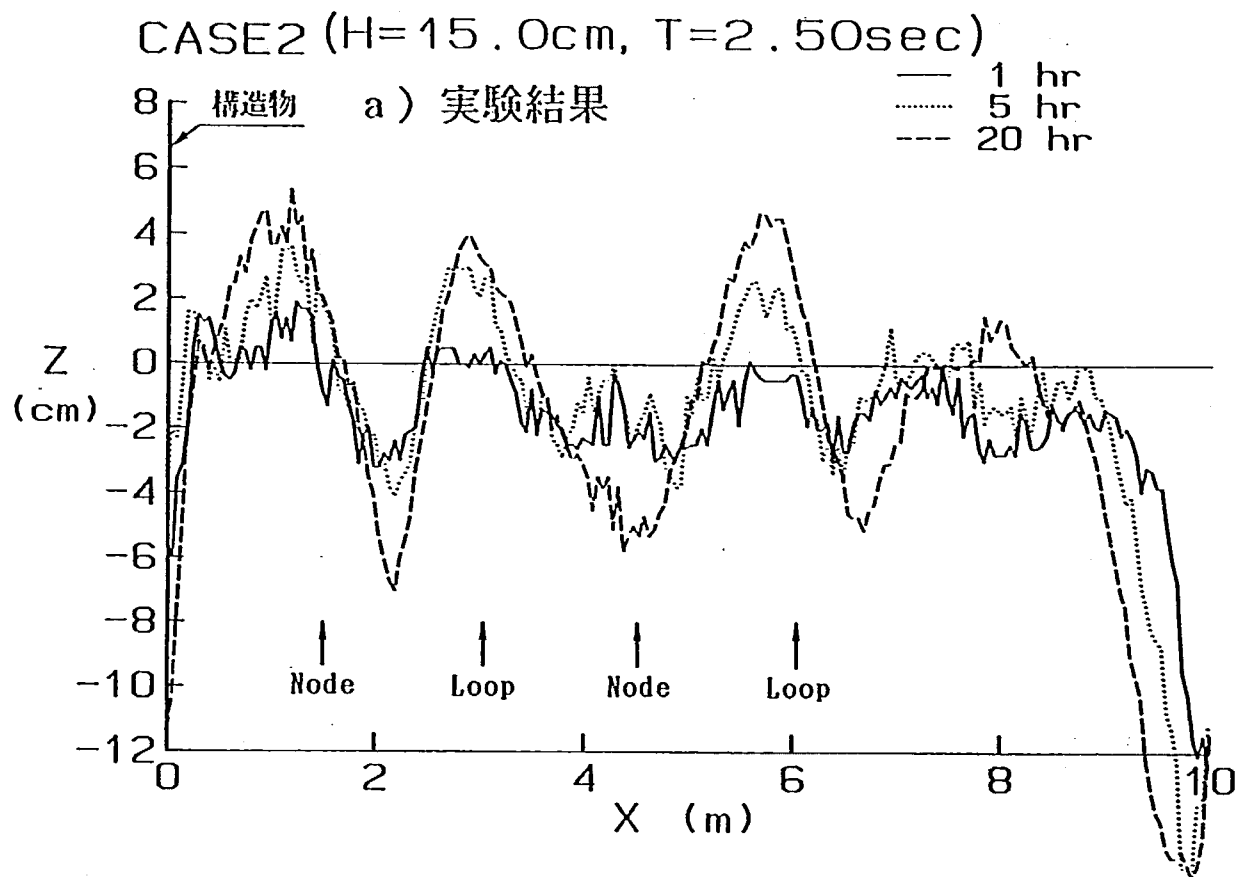


図-5.9 海底断面形の変化(ケース2)

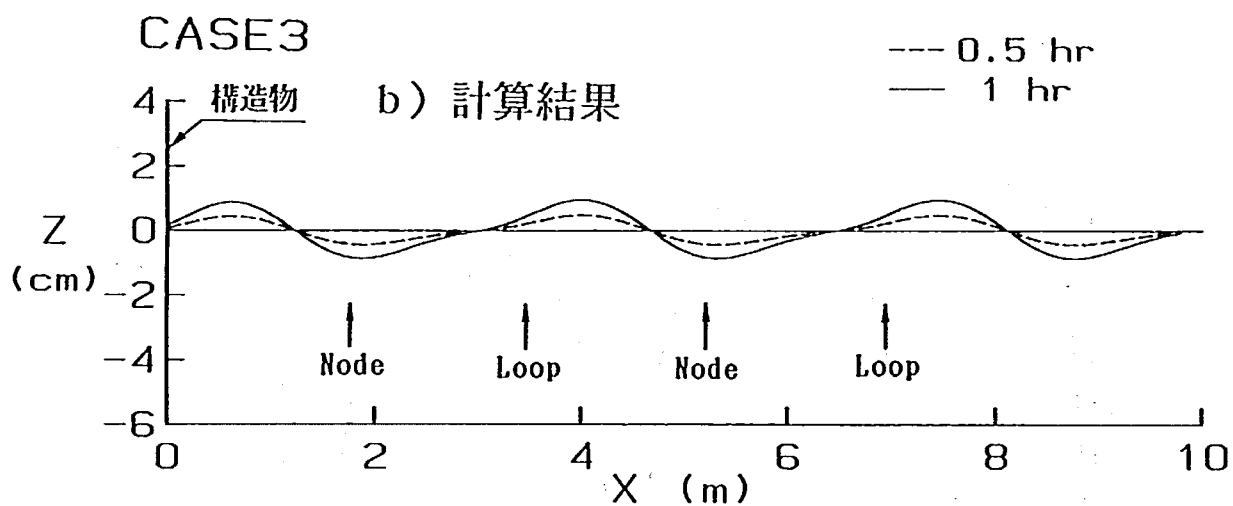
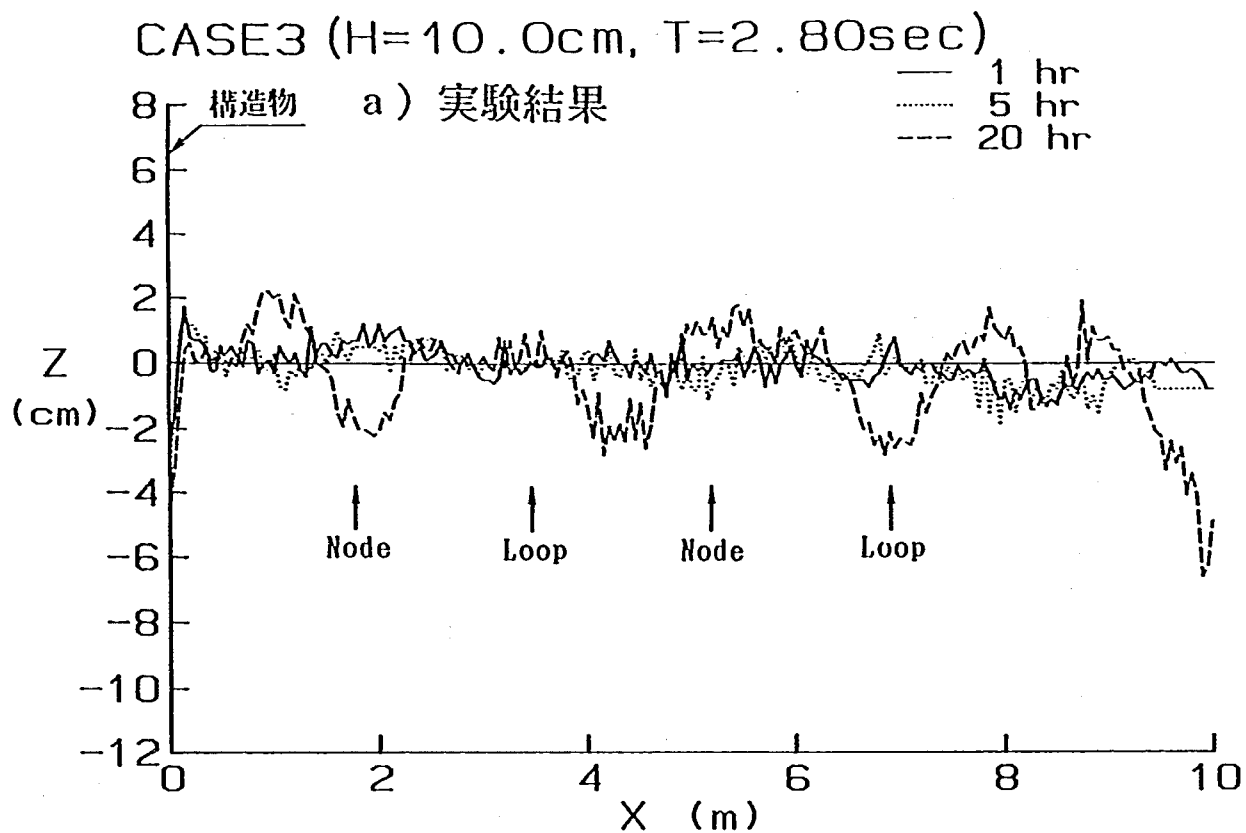


図-5.10 海底断面形の変化(ケース3)

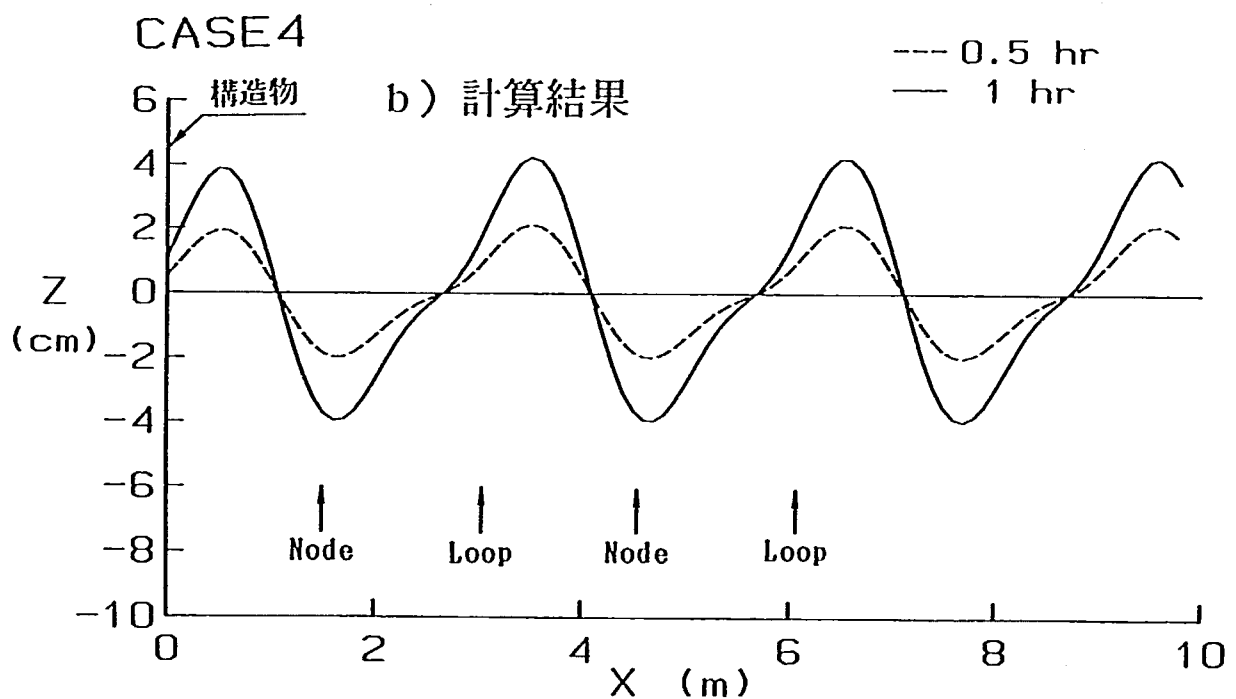
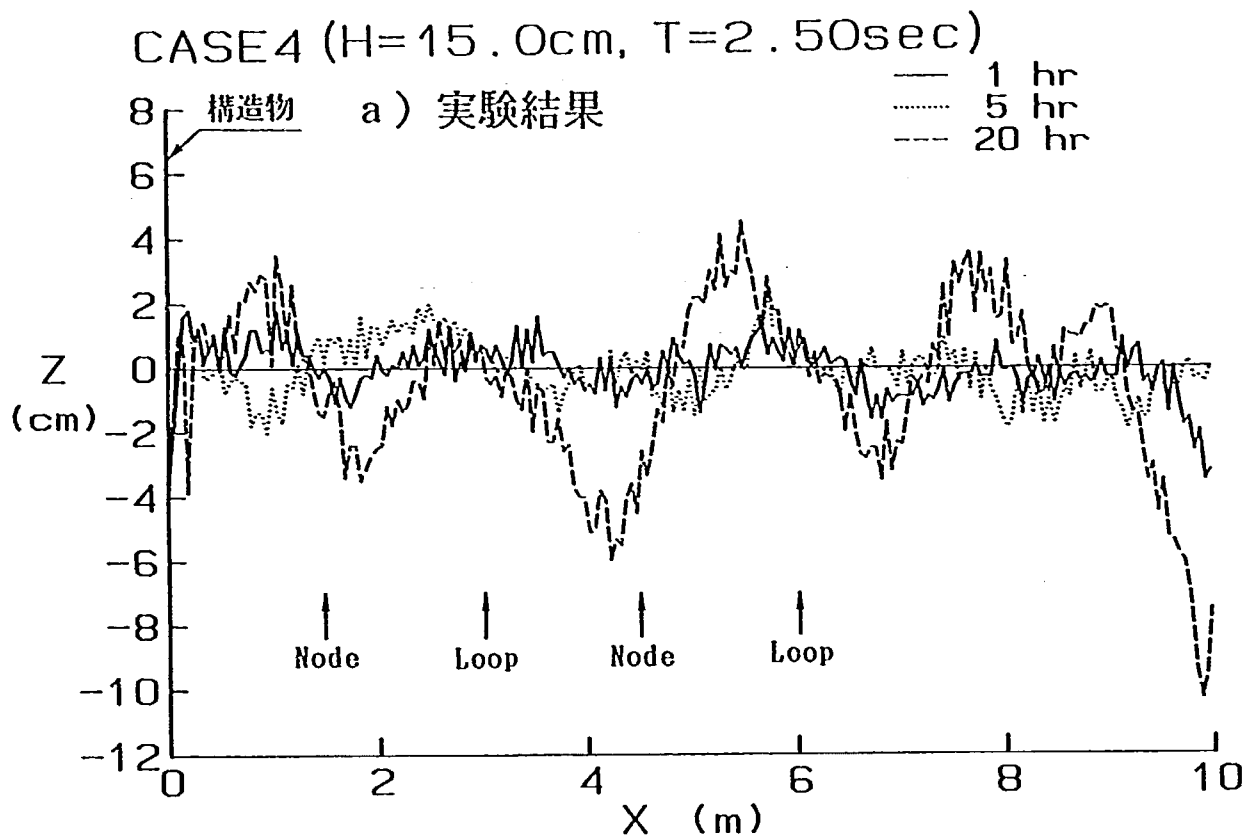


図-5. 11 海底断面形の変化 (ケース 4)

6. 結論

本研究の成果は以下のように要約される。

- ①実験によれば、構造物の設置に伴う沖合海底地形の変化は、反射率および波高に応じてN-タイプあるいはL-タイプとなり、構造物の近くでは局所洗掘による地形変化が重なることが見いだされた。
- ②反射率が高くなると、構造物沖合の砂澁の発生状況は岸沖方向に一定しなくなる。砂澁形状の場所的な変化は浮遊砂濃度と平均流速の分布の変化をもたらす、そのことがまた地形変化に影響する。
- ③構造物沖合の浮遊砂濃度は、波動運動による底質の浮遊、および構造物直下で浮遊した底質が構造物より発生する乱れにより拡散される現象に支配される。ただし、構造物より発生する乱れは沖方向に急激に減衰するため、構造物の影響はそれに最も近い節の位置付近までしか及ばない。
- ④本研究で開発した計算モデルによれば、空隙率の大きなケースを除いて、実験の地形変化傾向を再現することが可能である。

参考文献

- 入江 功・近藤隆道・赤石正広・寺崎賢次 (1984) : 重複波による防波堤前面での海底洗掘, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 350~354.
- 宇多高明・堤 博志・村井禎美・藤原隆一 (1988) : 杭式海洋構造物周りの洗掘実態調査, 海洋開発論文集, Vol. 4, pp. 123~128.
- 宇多高明・中村瑛佳・村井禎美・松永博史 (1989) : 有脚式離岸堤周りの初期洗掘の現地調査, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 409~413.
- 浦田健一・中村瑛佳・大石英男・宇多高明・村井禎美 (1989) : 駿河海岸における新型離岸堤の建設とその後の追跡調査, 海洋開発論文集, Vol. 5, pp. 309~314.
- 沢本正樹・山下俊彦・北村 匡 (1981) : 砂漣上の乱れ強度分布と浮遊砂濃度分布, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 232~236.
- 西沢 勝・沢本正樹 (1989) : 波による円柱まわりの局所洗掘, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 414~418.
- 野田英明 (1970) : 波動境界層における質量輸送と海底の洗掘, 第17回海岸工学講演会論文集, pp. 59~66.
- 林 泰造・服部昌太郎・白井増次郎 (1966) : 透過性鋼管防波堤の水理, 第13回海岸工学講演会講演集, pp. 97~101.
- 水口 優・小島匡人・小宮山正二・佐藤 忍 (1985) : 波動による小口径円柱まわりの局所洗掘に関する実験的研究, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 430~434.
- Carter, T. G., Liu, P. L. F. and Mei, C. C. (1973) : Mass transport by waves and offshore sand bedforms, J. Waterways Harbours Coastal Eng. Div., ASCE, Vol. 99, pp. 165-184.
- Hayakawa, N., Tsujimoto, G. and Hashimoto, H. (1983) : Velocity distribution and suspended sediment concentration over large scale ripples, Coastal Eng. Japan, Vol. 26, pp. 91-100.
- Longuet-Higgins, M. S. (1953) : Mass transport in water waves, Phil. Trans. Royal Soc. London, Series. A, No.903, Vol. 245, pp. 538-581.
- Nielsen, P. (1981) : Dynamics and geometry of wave generated ripples, J. Geophys. Res., Vol. 66, pp.6467-6472.

透過式消波構造物の設置に伴
う沖合海底地形の変化機構に
関する実験的研究

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2877号
平成2年7月 (1990)

宇多 高明, 小俣 篤
峯松 麻成

要 旨 透過式消波構造物の設置に伴う沖合海底地形の変化機構を水理模型実験により調べた。実験によると、構造物の沖合における地形変化は、反射率および入射波高に応じてN-タイプあるいはI-タイプに分類された。また、構造物の近傍では上記の地形変化に局所洗掘が重なることが新たに見出された。また、構造物から沖合約半波長までの区間の浮遊砂濃度は、波動運動による底質の浮遊と、構造物直下より浮遊した底質が構造物より発生した乱れにより拡散される現象とに支配されることが分かった。そこで、これら両者を取り込んだ地形変化モデルを作成した。このモデルによれば、入射波高、反射率ともに高いケースを除けば、実験で得られた地形変化の傾向を良好に再現することができた。

キーワード：透過式消波構造物、水理模型実験、部分重複波、浮遊砂濃度、地形変化機構、洗掘、地形変化解析モデル

郵便はがき

41円切手
をはって
下さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

河川部海岸研究室 行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2890号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印