

18

DE BEREKENING VAN DE WATERBEWEGING OP EEN TALUD ONDER
GOLFAANVAL MET EEN NUMERIEK MODEL.

Afstudeerverslag

Technische Universiteit Delft

Faculteit der Civiele Techniek

R.D. Broekens

augustus 1988

INHOUD

	<u>LIJST VAN TABELLEN.</u>	4
	<u>LIJST VAN FIGUREN.</u>	5
	<u>LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN.</u>	12
	<u>SAMENVATTING</u>	13
1	<u>INLEIDING.</u>	15
2	<u>BESCHRIJVING VAN HET MODEL.</u>	17
	2.1 Inleiding.	17
	2.2 De wiskundige beschrijving van de waterbeweging.	17
	2.3 Rand- en beginvoorwaarden.	19
	2.3.1 Zeewaartse rand.	19
	2.3.2 Landwaartse rand.	21
	2.4 De numerieke oplossing van het model.	23
	2.5 Stabiliteit.	24
3	<u>DE VERIFIKATIE VAN HET MODEL.</u>	25
	3.1 Inleiding.	25
	3.2 De beschrijving van de uitgevoerde proeven.	25
	3.2.1 De modelproeven van Ahrens.	26
	3.2.2 De modelproeven van Kobayashi & Jacobs.	26
	3.3 De vergelijking van de resultaten.	26
	3.3.1 De vergelijking met de proeven met uniforme taluds.	26
	3.3.1.1 Verschillen met de numerieke resultaten van Kobayashi.	27

3.3.1.2	Verschillen met de meetresultaten.	27
3.3.2	De vergelijking met de proeven met samengestelde taluds.	29
3.4	De verklaring van de verschillen.	29
3.4.1	Verschillen tussen berekende waarden van LWOS en Kobayashi.	29
3.4.2	Verschillen tussen LWOS en meetwaarden.	30
4	<u>GEVOELIGHEIDSANALYSE VAN HET MODEL VOOR ENKELE INVOERPARAMETERS.</u>	33
4.1	Inleiding.	33
4.2	De gevoeligheid voor de stapgrootte.	33
4.3	De gevoeligheid voor de wrijvingscoëfficiënt.	34
4.4	De gevoeligheid voor de minimale waterdiepte.	35
5	<u>KONKLUSIES EN AANBEVELINGEN.</u>	37
5.1	Konklusies.	37
5.2	Aanbevelingen.	37
	<u>LITERATUUR.</u>	39
	<u>TABELLEN.</u>	
	<u>FIGUREN.</u>	
	<u>BIJLAGE I.</u>	

LIJST VAN TABELLEN.

- tabel 1 : Gegevens van de modelproeven van Ahrens.
- tabel 2 : Gegevens van de modelproeven van Kobayashi & Jacobs.
- tabel 3 : De door LWOS en het model van Kobayashi berekende golfoploop.
- tabel 4 : De door LWOS en het model van Kobayashi berekende reflectie.
- tabel 5 : De waarde van dR voor de proeven van Ahrens.
- tabel 6 : Gegevens van de in het W.L. uitgevoerde modelproeven (S 467).

LIJST VAN FIGUREN.

- fig. 1 : Situatieschets.
- fig. 2 : Definitie van de waterlijn.
- fig. 3a/b : Computed incident and reflected waves and depth-averaged velocity at the seaward boundary for data from Ahrens' test no. 49.
- fig. 3c : Computed shoreline motion for data from Ahrens' test no. 49.
- fig. 3d/e : Computed free surface elevations and depth-averaged velocities at $t = 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0$ for data from Ahrens' test no. 49.
- fig. 4a : De inkomende en gereflekterde golfhoogte tegen de tijd op de zeewaartse rand behorende bij Ahrens' test no. 49.
- fig. 4b : De snelheid tegen de tijd op de zeewaartse rand behorende bij Ahrens' test no. 49.
- fig. 4c : De beweging van de waterlijn tegen de tijd behorende bij Ahrens' test no. 49.
- fig. 4d : De waterdiepte tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 49.
- fig. 4e : De snelheid tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 49.

- fig. 4f : De maximale en minimale snelheid in de tijd tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 49.
- fig. 5a/b : Computed incident and reflected waves and depth-averaged velocity at the seaward boundary for data from Ahrens' test no. 32.
- fig. 5c : Computed shoreline motion for data from Ahrens' test no. 32.
- fig. 5d/e : Computed free surface elevations and depth-averaged velocities at $t = 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0$ for data from Ahrens' test no. 32.
- fig. 6a : De inkomende en gereflekteerde golfhoogte tegen de tijd op de zeewaartse rand behorende bij Ahrens' test no. 32.
- fig. 6b : De snelheid tegen de tijd op de zeewaartse rand behorende bij Ahrens' test no. 32.
- fig. 6c : De beweging van de waterlijn tegen de tijd behorende bij Ahrens' test no. 32.
- fig. 6d : De waterdiepte tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 32.
- fig. 6e : De snelheid tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 32.
- fig. 6f : De maximale en minimale snelheid in de

tijd tegen de plaats op het talud
behorende bij Ahrens' test no. 32.

- fig. 7a/b : Computed incident and reflected waves
and depth-averaged velocity at the
seaward boundary for data from Ahrens'
test no. 47.
- fig. 7c : Computed shoreline motion for data from
Ahrens' test no. 47.
- fig. 7d/e : Computed free surface elevations and
depth-averaged velocities at $t = 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0$ for data from
Ahrens' test no. 47.
- fig. 8a : De inkomende en gereflekteerde
golfhoogte tegen de tijd op de
zeewaartse rand behorende bij Ahrens'
test no. 47.
- fig. 8b : De snelheid tegen de tijd op de
zeewaartse rand behorende bij Ahrens'
test no. 47.
- fig. 8c : De beweging van de waterlijn tegen de
tijd behorende bij Ahrens' test no. 47.
- fig. 8d : De waterdiepte tegen de plaats op het
talud behorende bij Ahrens' test no. 47.
- fig. 8e : De snelheid tegen de plaats op het talud
behorende bij Ahrens' test no. 47.
- fig. 8f : De maximale en minimale snelheid in de
tijd tegen de plaats op het talud
behorende bij Ahrens' test no. 47.

- fig. 9a/b : Computed incident and reflected waves and depth-averaged velocity at the seaward boundary for data from Ahrens' test no. 7.
- fig. 9c : Computed shoreline motion for data from Ahrens' test no. 7.
- fig. 9d/e : Computed free surface elevations and depth-averaged velocities at $t = 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0$ for data from Ahrens' test no. 7.
- fig. 10a : De inkomende en gereflekteerde golfhoogte tegen de tijd op de zeewaartse rand behorende bij Ahrens' test no. 7.
- fig. 10b : De snelheid tegen de tijd op de zeewaartse rand behorende bij Ahrens' test no. 7.
- fig. 10c : De beweging van de waterlijn tegen de tijd behorende bij Ahrens' test no. 7.
- fig. 10d : De waterdiepte tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 7.
- fig. 10e : De snelheid tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 7.
- fig. 10f : De maximale en minimale snelheid in de tijd tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 7.
- fig. 11a/b : Computed incident and reflected waves and depth-averaged velocity at the

seaward boundary for data from Ahrens' test no. 31.

- fig. 11c : Computed shoreline motion for data from Ahrens' test no. 31.
- fig. 11d/e : Computed free surface elevations and depth-averaged velocities at $t = 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0$ for data from Ahrens' test no. 31.
- fig. 12a : De inkomende en gereflekteerde golfhoogte tegen de tijd op de zeewaartse rand behorende bij Ahrens' test no. 31.
- fig. 12b : De snelheid tegen de tijd op de zeewaartse rand behorende bij Ahrens' test no. 31.
- fig. 12c : De beweging van de waterlijn tegen de tijd behorende bij Ahrens' test no. 31.
- fig. 12d : De waterdiepte tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 31.
- fig. 12e : De snelheid tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 31.
- fig. 12f : De maximale en minimale snelheid in de tijd tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 31.
- fig. 13a/b : Computed incident and reflected waves and depth-averaged velocity at the seaward boundary for data from Ahrens' test no. 5.

- fig. 13c : Computed shoreline motion for data from Ahrens' test no. 5.
- fig. 13d/e : Computed free surface elevations and depth-averaged velocities at $t = 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0$ for data from Ahrens' test no. 5.
- fig. 14a : De inkomende en gereflekteerde golfhoogte tegen de tijd op de zeewaartse rand behorende bij Ahrens' test no. 5.
- fig. 14b : De snelheid tegen de tijd op de zeewaartse rand behorende bij Ahrens' test no. 5.
- fig. 14c : De beweging van de waterlijn tegen de tijd behorende bij Ahrens' test no. 5.
- fig. 14d : De waterdiepte tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 5.
- fig. 14e : De snelheid tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 5.
- fig. 14f : De maximale en minimale snelheid in de tijd tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 5.
- fig. 15 : Comparison of computed runup with experimental runup data of Ahrens.
- fig. 16 : Comparison of computed reflection coeff. with experimental data of Günbak.
- fig. 17 : Comparison with measured runup on composite slopes.

- fig. 18 : De invloed van de stapgrootte op de waterbeweging.
- fig. 19a : De invloed van de wrijvingscoëfficiënt op de waterbeweging.
- fig. 19b : De invloed van de wrijvingscoëfficiënt op de waterbeweging.
- fig. 20a : De invloed van de minimale waterdiepte op de waterbeweging.
- fig. 20b : De invloed van de minimale waterdiepte op de waterbeweging.
- fig. 21 : De invloed van δ_r op de golfoploop en de golfneerloop.
- fig. 22 : Het gemeten verloop van de golfoploop en golfneerloop in de tijd (W.L. S 467).

LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN.

t'	- tijd
h'	- waterdiepte
h'_0	- waterdiepte in toestand zonder golven
h'_{ot}	- waterdiepte in toestand zonder golven t.p.v. de teen van het talud
η'	- golfhoogte
η'_i	- golfhoogte van inkomende golf
η'_r	- golfhoogte van gereflekteerde golf
z'_b	- de z-koördinaat van de bodem
z'_{wl}	- de z-koördinaat van de bewegende waterlijn
x'_{wl}	- de x-koördinaat van de bewegende waterlijn
θ'	- de hellingshoek van het talud
B'	- de breedte van een deel van het talud
u'	- de over de diepte gemiddelde snelheid van het water
u'_{max}	- de maximale snelheid in de tijd
u'_{min}	- de minimale snelheid in de tijd
T'	- de golfperiode van de inkomende golf
H'	- de golfhoogte van de inkomende golf
L'	- de golflengte van de inkomende golf
R'_u	- de golfoploop
R'_d	- de golfneerloop
R'_e	- de equivalente golfoploop
r	- de reflectiecoëfficiënt
g	- de zwaartekrachtsversnelling
ξ	- de surf similarity parameter
ξ_e	- de equivalente surf similarity parameter
U	- het getal van Ursell
τ'_b	- de bodemschuifspanning
ρ	- het soortelijk gewicht van het water
d'	- de steendiameter
f'	- wrijvingscoëfficiënt van de bodem van het talud
$\Delta x'$	- de stapgrootte in de x-richting
$\Delta t'$	- de tijdstap
δ'	- de minimale waterdiepte
δ'_r	- de minimale visuele waterdiepte
s_0	- het aantal knooppunten bij water in rust
N_p	- het aantal tijdstappen per golfperiode

SAMENVATTING

Door Kobayashi [9] wordt een numeriek model beschreven waarmee de waterbeweging op stortsteen taluds kan worden berekend. Omdat dit programma niet in gebruikersvriendelijke vorm beschikbaar is, is getracht dit programma na te bootsen.

Het model beschrijft de waterbeweging m.b.v. de lange-golf vergelijkingen in een situatie waar golven op een ondoorlatend talud lopen. Golfoverslag kan niet beschreven worden. Er kunnen slechts loodrecht op het talud invallende golven beschreven worden. De permeabiliteit van de stortsteenlaag wordt niet in het model opgenomen. Gegevens over de ruwheid van het talud moeten met een empirisch bepaalde wrijvingscoëfficiënt in rekening gebracht worden.

Het model is getest voor uniforme en samengestelde taluds. Verder is er getest met regelmatige golven in het gebied van plunging tot surging breakers.

De waarden van enkele parameters die de waterbeweging bepalen zijn vergeleken met resultaten van het in de literatuur beschreven numerieke model en van schaalmodellen.

De berekende waarden van de waterdiepte en de over de diepte gemiddelde snelheid op het talud zijn in overeenstemming met de door het programma van Kobayashi berekende waarden. Ook de door beide programma's berekende waarden van golfoploop en reflectie komen goed overeen.

Uit vergelijking met meetgegevens blijkt dat de berekende golfoploop en reflectiecoëfficiënt goed

overeenkomt voor plunging brekers. Voor surging brekers worden de golfoploop en de reflektiecoëfficiënt iets overschat.

Er worden enige aanwijzingen gegeven over de waarden van enkele invoerparameters van het model.

INLEIDING.

In het onderzoek naar de stabiliteit van stortsteen taluds onder golfaanval neemt het onderzoek naar de waterbeweging op taluds een belangrijke plaats in. Deze waterbeweging kan met een numeriek model beschreven worden.

Omdat er golven op het talud zullen breken, is de waterbeweging moeilijk te beschrijven. Het model kan vereenvoudigd worden door de waterbeweging te schematiseren tot een lange-golf beweging.

Roos [12] beschrijft een numeriek model dat gebruik maakt van de bovenstaande vereenvoudiging. De resultaten zijn niet bevredigend. Er wordt een faktor 2 à 3 te kleine golfoploop berekend.

Van Baalen [2] probeert met het komputerprogramma TIDES de golfoploop te berekenen. Ook nu wordt de waterbeweging met de lange-golf vergelijkingen beschreven. Er worden geen goede resultaten gevonden.

Ook Kobayashi e.a. [9,13] beschrijven een numeriek model waarin de waterbeweging wordt beschreven met de lange-golf vergelijkingen (verder wordt dit model met het model van Kobayashi aangeduid). Nu zijn de resultaten wel bemoedigend. De golfoploop en reflectie worden redelijk goed berekend. Het model kan uitgebreid worden door ook de stabiliteit van de stenen te berekenen [8,10]. Een dergelijk model kan een hulpmiddel zijn bij het ontwerp van golfbrekers.

Het bovengenoemde model bestaat echter niet in gebruikersvriendelijke vorm. Daarom is geprobeerd een komputerprogramma te schrijven dat de waterbeweging op

dezelfde manier berekend^t. Dit heeft geleid tot het programma LWOS (Long Wave On Slope).

In hoofdstuk 2 wordt de werking van het model beschreven. De verifikatie van het model wordt beschreven in hoofdstuk 3. De gevoeligheid van de resultaten voor enkele parameters wordt behandeld in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 bevat konklusies en aanbevelingen.

2.1 Inleiding.

Het model beschrijft een situatie zoals getekend in fig. 1. Vanaf de zee kant lopen golven in de richting van een ondoordringend talud. Ook de permeabiliteit van de stortsteenlaag wordt verwaarloosd. Golfoverslag kan niet worden beschreven. De vorm van het talud kan slechts met een beperkt aantal (6) rechte lijnen geschematiseerd worden.

2.2 De wiskundige beschrijving van de waterbeweging.

De waterbeweging wordt geschematiseerd tot een 1-dimensionale lange-golf beweging. Dit betekent dat de snelheid wordt gemiddeld over de waterdiepte en dat de druk hydrostatisch is. De snelheid is gedefinieerd in x-richting. Brekende golven kunnen slechts als een steil golffront (bore) weergegeven worden. Verder kunnen slechts loodrecht op het talud invallende golven beschreven worden. Er geldt:

$$\frac{\partial h'}{\partial t'} + u' \frac{\partial h'}{\partial x'} + h' \frac{\partial u'}{\partial x'} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u'}{\partial t'} + u' \frac{\partial u'}{\partial x'} + g \frac{\partial h'}{\partial x'} + g \frac{\partial z'_b}{\partial x'} = - \frac{\tau'_b}{h' \rho} \quad (2)$$

Invullen van

$$\tau'_b = \frac{1}{2} \rho F' |u'| u' \quad (2a)$$

levert

$$\frac{\partial u'}{\partial t'} + u' \frac{\partial u'}{\partial x'} + g \frac{\partial h'}{\partial x'} + g \frac{\partial z'_b}{\partial x'} = - \frac{F' |u'| u'}{2h'} \quad (3)$$

De berekening wordt uitgevoerd met dimensieloze grootheden. De volgende dimensieloze grootheden worden ingevoerd:

$$t = \frac{t'}{T'}, \quad x = \frac{x'}{T' \sqrt{g H'}}, \quad z = \frac{z'}{H'}$$

$$h = \frac{h'}{H'}, \quad u = \frac{u'}{\sqrt{g H'}}$$

$$\sigma = T' \sqrt{g/H'}$$

$$F = \frac{1}{2} \sigma F'$$

$$\theta = \sigma \tan \theta' = \xi \sqrt{2\pi}$$

Handwritten signature

(Alle dimensieloze grootheden worden verder zonder accent geschreven). De lange-golf vergelijkingen worden nu:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}(hu^2 + \frac{1}{2}h^2) = -gh - F|u|u \quad (5)$$

Waarom van f verp. F ?

2.3 Rand- en beginvoorwaarden.

Om de lange golf vergelijkingen in de tijd te kunnen integreren zijn op de beide randen randvoorwaarden nodig. Verder zijn op het hele rekengebied twee beginvoorwaarden nodig.

2.3.1 Zeewaartse rand.

Op de zeewaartse rand wordt de inkomende golfhoogte opgelegd. De gereflekteerde golfhoogte kan met informatie uit het rekengebied berekend worden.

Er moet worden aangenomen dat op de zeewaartse rand de vergelijkingen voor lineaire lange golven gelden. Er moet dan gelden dat $h = h_0 + \eta$ met $\eta \ll h_0$. De waterdiepte t.p.v. de zeewaartse rand moet dus voldoende groot zijn. Nu gelden de volgende relaties:

$$u = u_i + u_r \quad (6)$$

$$h = h_0 + \eta_i + \eta_r \quad (7)$$

$$u_i = \frac{\eta_i}{\sqrt{h_0}}, \quad u_r = -\frac{\eta_r}{\sqrt{h_0}} \quad (8)$$

De lange-golf vergelijkingen kunnen in karakteristieke vorm geschreven worden. Er geldt dan:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + (u+c) \frac{\partial \alpha}{\partial x} = -\theta - \frac{F|u|u}{h} \quad (9)$$

langs $\frac{dx}{dt} = u+c$

$$\frac{\partial \beta}{\partial t} + (u-c) \frac{\partial \beta}{\partial x} = \theta + \frac{F|u|u}{h} \quad (10)$$

langs $\frac{dx}{dt} = u-c$

waarin $c = \sqrt{h}$, $\alpha = u+2c$, $\beta = -u+2c$ (11)

Aangenomen dat $u < c$, beschrijft (10) de zeewaarts lopende karakteristiek. Op de zeewaartse rand kan de waarde van de β berekend worden met informatie uit het rekengebied. De waarde van β op de zeewaartse rand wordt met een differentievergelijking berekend. Invullen van (6) in (11) leidt tot:

$$\beta = -\frac{1}{\sqrt{h_0}} (\eta_i - \eta_r) + 2\sqrt{h} \quad (12)$$

Eliminatie van η_i uit (12) levert

$$\eta_r = \frac{1}{2}\beta\sqrt{h_0} + \frac{1}{2}(h-h_0) - \sqrt{hh_0} \quad (13)$$

Uit $\eta \ll h_0$ volgt

$$\sqrt{h h_0'} \approx h_0 \quad (14)$$

$$h - h_0 \ll h_0 \quad (15)$$

Nu volgt

$$\eta_r = \frac{1}{2} \beta \sqrt{h_0'} - h_0 \quad (16)$$

Nu kan de waterdiepte en de snelheid berekend worden. Er geldt:

$$h = h_0 + \eta_i + \eta_r \quad (17)$$

$$u = 2 \sqrt{h_0'} - \beta \quad (18)$$

De reflectiecoëfficiënt wordt gedefiniëerd als

$$r = \frac{\eta_r}{\eta_i} \quad (19)$$

2.3.2 Landwaartse rand.

De waterlijn wordt gedefiniëerd als dat knooppunt s waarvoor geldt:

$$h(s) > \delta$$

$$h(s+1) < \delta$$

Hierin is δ de minimale waterdiepte. De plaats van de waterlijn moet op elk tijdstip opnieuw bepaald worden. Op de landwaartse rand zijn nu twee randvoorwaarden nodig. Er geldt:

$$h = 0 \quad \text{op} \quad x = x_s$$

$$\frac{dx_s}{dt} = u$$

De numerieke behandeling van de landwaartse rand is vrij gecompliceerd. Er zijn drie mogelijkheden:

- a. Het rekengebied wordt één knooppunt kleiner (golfneerloop).
- b. Het rekengebied blijft even groot.
- c. Het rekengebied wordt één knooppunt groter (golfoploop). Nu moet dus in één extra knooppunt de snelheid en waterdiepte berekend worden.

De stabiliteitseis zorgt ervoor dat het rekengebied niet met meerdere knooppunten per tijdstip kan worden vergroot of verkleind. De methode wordt beschreven in [5,9,10,13].

De waarde van δ wordt geïntroduceerd om er voor te zorgen dat knooppunten met een zeer kleine waterdiepte worden afgestoten. Bij een te kleine waarde van δ treedt instabiliteit op. Het blijkt dat een waarde voor δ van $5 \cdot 10^{-4}$ te klein is. De invloed van de grootte van δ op de waterbeweging wordt beschreven in 4.3.

Naast bovengenoemde "numerieke" waterlijn wordt een "visuele" waterlijn geïntroduceerd. Als de berekening op een bepaald tijdstip voltooid is wordt de visuele waterlijn gedefiniëerd als dat knooppunt s waarvoor geldt:

$$\begin{aligned} h(s) &> \delta_r \\ h(s+1) &< \delta_r \end{aligned}$$

waarbij $\delta_r > \delta$

Golfoploop en golfneerloop worden m.b.v. deze visuele waterlijn gedefiniëerd (zie fig. 2). De golfoploop is het hoogste punt dat de visuele waterlijn bereikt t.o.v. S.W.L.; de golfneerloop is het laagste punt dat de visuele waterlijn bereikt t.o.v. S.W.L. De grootte van δ_r beïnvloedt alleen de plaats van de visuele waterlijn en heeft geen invloed op de overige kenmerken van de waterbeweging. Met de waterlijn wordt verder de visuele waterlijn bedoeld.

2.4 De numerieke oplossing van het model.

De lange-golf vergelijkingen worden numeriek opgelost met een expliciete eindige-differentie methode voorgesteld door Lax en Wendroff. De differentievergelijking staat beschreven in [9,11]. Het rekengebied wordt afgebakend door een zeewaartse rand en een landwaartse rand. De zeewaartse rand bevindt zich t.p.v. de teen van het talud. De landwaartse rand is de over het talud bewegende waterlijn. In het rekengebied tussen deze randen worden met vaste tussenruimte ($\Delta x'$) een aantal knooppunten gedefiniëerd. Het aantal knooppunten in het rekengebied is dus niet konstant in de tijd. In elk knooppunt wordt de waarde van de snelheid en van de waterdiepte berekend. Om de numerieke instabiliteit die bij een golffront ontstaat

te dempen, bevat de differentievergelijking een dampingsterm.

Welke?

hoe?

Waar?

Formule?

2.5

Stabiliteit.

Het stabiliteitskriterium voor het gebruikte numerieke schema is:

$$\lambda = \frac{\Delta t}{\Delta x} < \left[(|u| + c)_m \right]^{-1} \left[\sqrt{1 + \frac{\varepsilon^2}{4}} - \frac{\varepsilon}{2} \right]$$

Hierin is $(|u| + c)_m$ de maximale waarde van $(|u| + c)$ die optreedt tijdens de berekening en ε een dempingscoëfficiënt. Hiervoor wordt in [13] een waarde van 1,1 gebruikt. Deze waarde wordt in LWOS overgenomen.

3.1 Inleiding.

De resultaten van LWOS zijn vergeleken met de resultaten van schaalmodelproeven met stortsteen taluds van Ahrens (uniforme taluds) [1] en Kobayashi & Jacobs (samengestelde taluds) [7]. Omdat de resultaten van het numerieke model van Kobayashi ook met bovengenoemde schaalmodelproeven zijn vergeleken kan nu LWOS ook met het numerieke model van Kobayashi vergeleken worden. Hierbij is er voor gezorgd dat alle invoerparameters van LWOS en het model van Kobayashi dezelfde waarde hebben.

3.2 De beschrijving van de uitgevoerde proeven.

Bovengenoemde schaalmodelproeven zijn nagebootst met LWOS.

Om de inkomende golven in de bovengenoemde modelproeven te beschrijven maken LWOS en Kobayashi gebruik van niet-lineaire korte-golf theorie. Als het getal van Ursell (zie Bijlage I) groter dan 26 is, wordt de inkomende golfhoogte berekend met cnoïdale theorie. In de andere gevallen wordt de inkomende golfhoogte berekend met tweede-orde Stokes-theorie. Op deze manier wordt op de zeewaartse rand een regelmatige inkomende golf opgelegd.

De beginvoorwaarde is de rusttoestand. Er moet nu een aantal golfperiodes doorgerekend worden om een periodieke waterbeweging op het talud te krijgen.

De proeven zijn zo gekozen dat een spreiding in de waarde van de surf similarity parameter wordt verkregen.

*Hoe is wrijvingsfactor f bepaald
bep. behoren in
de num. simulatie?*

De waterbeweging wordt in grote mate bepaald door deze parameter.

3.2.1 De modelproeven van Ahrens.

Er zijn 6 verschillende proeven gekozen om mee te vergelijken. In tabel 1 zijn waarden van de parameters van de gekozen proeven te zien (de oorspronkelijke testnummers zijn aangehouden). Er zijn 8 golfperioden doorgerekend om periodiciteit van de waterbeweging te bereiken.

3.2.2 De modelproeven van Kobayashi & Jacobs.

Er zijn 4 verschillende proeven gekozen om mee te vergelijken. In tabel 2 zijn de waarden van de parameters van de gekozen proeven te zien. Er zijn 4 golfperioden doorgerekend om periodiciteit van de waterbeweging te bereiken.

3.3 De vergelijking van de resultaten.

3.3.1 De vergelijking met de proeven met uniforme taluds.

De volgende relaties tussen dimensieloze parameters zijn door zowel Kobayashi als met LWOS bepaald:

- De inkomende en de gereflekteerde golfhoogte en de tijd op de zeewaartse rand.
- De snelheid en de tijd op de zeewaartse rand.
- De z-koördinaat van de waterlijn en de tijd.
- De waterdiepte en de plaats op het talud.

- De snelheid en de plaats op het talud.

Verder worden de golfoploop en de reflektiecoëfficiënt bepaald. Ahrens heeft slechts de golfoploop gemeten. De berekende reflektiecoëfficiënten worden daarom vergeleken met meetresultaten van Günbak [9].

Bovendien is door LWOS de relatie tussen de minimale en maximale snelheid in de tijd en de plaats op het talud bepaald.

3.3.1.1 Verschillen met de numerieke resultaten van Kobayashi.

In de figuren 3 t/m 14 zijn de resultaten van LWOS en Kobayashi te zien (de figuren 3,5,7,9,11,13 komen uit [13]). In het algemeen vertonen de resultaten veel gelijkenis. *Wat met wat vergeleken?*

In de berekende waarden van de golfoploop zitten verschillen (zie fig. 15). De berekende waarden van de golfoploop zijn te zien in tabel 3. LWOS berekent voor het gehele bereik van de surf similarity parameter een kleinere golfoploop.

De berekende waarden van de reflektiecoëfficiënt zijn te zien in tabel 4. Voor hogere waarden van de surf similarity parameter is de overeenkomst tussen de resultaten van LWOS en Kobayashi goed. Voor lagere waarden van de surf similarity parameter zijn er verschillen.

3.3.1.2 Verschillen met de meetresultaten.

Ondanks de bovengenoemde verschillen tussen de

Wat is
het verschil
wat in
alle
figuren?
Door wie
berekend
etc.

resultaten van LWOS en Kobayashi, zijn de resultaten van LWOS bevredigend.

In fig. 15 zijn de door Kobayashi en LWOS berekende waarden en de door Ahrens gemeten waarden van de golfoploop uitgezet tegen de surf similarity parameter. Voor lage waarden van de surf similarity parameter is de overeenkomst goed, terwijl voor hogere waarden van de surf similarity parameter (surging breakers) de golfoploop door LWOS iets wordt overschat.

De door LWOS en Kobayashi berekende waarden en de door Günbak gemeten waarden van de reflektiecoëfficiënt zijn uitgezet tegen de surf similarity parameter in fig. 16. De berekende reflektiecoëfficiënten komen redelijk overeen met de meetwaarden. Voor grote surf similarity parameter wordt de reflektiecoëfficiënt door LWOS overschat.

In de figuren 3 t/m 14 d is de waterdiepte uitgezet tegen de plaats op het talud. Het blijkt dat de vorm van het wateroppervlak redelijk overeenkomt met ^{het} ~~de~~ bij het surf similarity parameter behorende brekertype (plunging - collapsing - surging). Uit het feit dat het verloop van de waterdiepte en de snelheid tegen de plaats na één golfperiode weer hetzelfde is, blijkt dat de waterbeweging periodiek is.

In de figuren 4,6,8,10,12,14 f is de maximale en de minimale snelheid in de tijd uitgezet tegen de plaats op het talud. Het blijkt dat de snelheden het grootst worden voor waarden van de surf similarity parameter tussen 2 en 3. Dit is in overeenstemming met het resonantieverschijnsel [4].

Het verloop van de z-koördinaat van de waterlijn in de tijd is trapsgewijs (zie figuren 3 t/m 14 c). Dit is te verklaren doordat bij deze testen in LWOS voor de z-

koördinaat van de waterlijn de waarde van z_b in het knooppunt van de waterlijn genomen is. Dit is niet in overeenstemming met de definitie in fig. 2.

3.3.2 De vergelijking met de proeven met samengestelde taluds.

In fig. 17 zijn de door LWOS en Kobayashi berekende en de door Kobayashi & Jacobs gemeten waarden van de golfoploop uitgezet tegen de equivalente surf similarity parameter. Deze parameter wordt gedefiniëerd in [7]. De golfoploop wordt hier overigens dimensieloos gemaakt met de equivalente golfhoogte (zie [7]).

De door LWOS berekende golfoploop is wat kleiner dan de door Kobayashi berekende waarden. De overeenkomst met de gemeten waarden is echter goed.

3.4 De verklaring van de verschillen.

*Wat een
Rins-
bouw?*

Zowel de verschillen tussen de door LWOS berekende en de gemeten waarden als de verschillen tussen de door LWOS en Kobayashi berekende waarden zullen geprobeerd te worden verklaard.

3.4.1 Verschillen tussen berekende waarden van LWOS en Kobayashi.

Ondanks dat getracht is het programma van Kobayashi na te bootsen, zijn de resultaten van de uitgevoerde testen niet exact gelijk.

Een mogelijke verklaring voor de verschillen in de berekende reflektiecoëfficiënten is dat de inkomende golf niet exact hetzelfde is. De methode van berekening wordt niet exact beschreven in [9,13].

Een goede verklaring voor de verschillen in de berekende golfoploop is niet gevonden.

3.4.2 Verschillen tussen LWOS en meetwaarden.

Hieronder worden enkele mogelijke verklaringen voor de gevonden verschillen gegeven.

- De waterbeweging wordt met de lange golf vergelijkingen beschreven. In werkelijkheid is de waterbeweging op het talud meer gecompliceerd.

Vertikale versnellingen worden verwaarloosd. Voor steile taluds is dit twijfelachtig.

Brekende golven kunnen slechts als een steil golffront weergegeven worden. De dissipatie van energie die met het breken van de golven gepaard gaat wordt nu niet in beschouwing genomen.

- 
- De permeabiliteit van de stortsteenlaag wordt in het model verwaarloosd. In de oploophase zal water in de permeabele stortsteenlaag dringen. In de neerloophase zal dit water weer uit de stortsteenlaag stromen. De waterbeweging zal hierdoor worden gedempt.

Omdat bij toenemende waarde van de surf similarity parameter de golfoploop en de weg die het water over het talud aflegt groter wordt, zal nu de verwaarlozing van de permeabiliteit een grotere rol spelen. Dit is in overeenstemming met de resultaten. Voor grote waarden van de surf similarity parameter worden door het programma wat te grote waarden van de golfoploop en de reflektiecoëfficiënt berekend.

- Op de zeewaartse rand worden de lineaire lange golf vergelijkingen gebruikt. In werkelijkheid zal er sprake zijn van niet-lineaire korte golven. Omdat met relaties die gelden voor lineaire lange-golven de gereflekteerde golf wordt berekend, zal de fout die door het toepassen van de bovenstaande vereenvoudiging ontstaat, vooral in de reflektiecoëfficiënt tot uitdrukking komen.
- Het is onduidelijk welke waarde van δ_r gebruikt moet worden om de plaats van de waterlijn goed te berekenen. Het valt op dat in de neerloopfase de waterlijn de neiging heeft erg langzaam te dalen (zie figuren 3 t/m 14 d), zodat de berekende neerloop erg klein is. Twee factoren spelen een rol bij de bepaling van de juiste waarde van δ_r .
 1. De exacte plaats van de waterlijn op een ruw talud is moeilijk vast te stellen. De waarde van δ_r zal afhangen van de gebruikte methode om de plaats van de waterlijn in het schaalmodel te bepalen (bijvoorbeeld de hoogte van een capacitieve draad boven het talud).
 2. Het is onduidelijk of het ondoorlatende talud in het model moet worden opgevat als de onderkant of de bovenkant (of iets er tussen in) van een in een schaalmodel aanwezige permeabele stortsteenlaag.
- Omdat de waterlijn in een knooppunt wordt gedefiniëerd, hangt de nauwkeurigheid van de golfoploop sterk af van $\Delta x'$. Er geldt:

$$dR = \frac{\xi \sqrt{2\pi}}{N_p \lambda}$$

waarin dR de verticale afstand tussen 2 opeenvolgende knooppunten is. Er wordt zo een onnauwkeurigheid

geïntroduceerd. De waarden van dR voor de proeven van Ahrens zijn te zien in tabel 5.

- f
- De waarde van de wrijvingscoëfficiënt is 0,30 gesteld. Deze waarde is m.b.v. een empirische formule bepaald (zie Bijlage I). Deze parameter is geschikt om het model te ijken en zo de verschillen met de gemeten waarden zo klein mogelijk te maken. Misschien dat een andere waarde van de wrijvingscoëfficiënt al dan niet in combinatie met een andere waarde van δ , de resultaten verbetert. De invloed van de wrijvingscoëfficiënt op de waterbeweging staat beschreven in 4.3.

- Door de numerieke integratie van de lange-golf vergelijkingen ontstaat een afbreekfout. De nauwkeurigheid van de berekening wordt behandeld in 4.2.

$f = 0.30 \rightarrow \text{const}$

Volgens Bgl. 1 $\rightarrow$ variabel

Bgl. Volgens bovenstaande komt berde?

Stijdig

Waarom in een
blyse?
Hechts
een formule
(m.b.v. f)

GEVOELIGHEIDSANALYSE VAN HET MODEL VOOR ENKELE INVOERPARAMETERS.

4.1 Inleiding.

De invloed van drie parameters op de resultaten van de berekening is onderzocht. Deze parameters zijn:

- a. De stapgrootte ($\Delta x'$).
- b. De wrijvingscoëfficiënt (F').
- c. De minimale waterdiepte (J').

Er is hier weer getest met de modelproeven van Ahrens (zie tabel ()).

4.2 De gevoeligheid voor de stapgrootte.

De stapgrootte beïnvloedt de nauwkeurigheid. Het is moeilijk een analytische uitdrukking te vinden voor de nauwkeurigheid. Een indicatie van de nauwkeurigheid kan verkregen worden door de relatie tussen de stapgrootte en parameters die de waterbeweging beschrijven te bekijken. Als verkleining van de stapgrootte voldoende kleine invloed heeft op de waterbeweging, kan gesteld worden dat de nauwkeurigheid voldoende is.

De volgende parameters zijn gekozen om de waterbeweging te beschrijven:

- De golfoploop
- De maximale snelheid op het talud
- De minimale snelheid op het talud

De relatie tussen bovengenoemde parameters en de stapgrootte is te zien in fig. 18.

→ Het ongeheerde van
wat bedoeld wordt ↓

$S_0 = ?$
(Def'n. op p. 12)

?
4.3

Omdat bij konstante λ de rekentijd ongeveer omgekeerd evenredig is met het kwadraat van Δx , wordt rekentijd bespaard als Δx zo klein mogelijk is. De testen uitgevoerd in 4.3 en 4.4 zijn daarom uitgevoerd met $S_0 = 60$. Deze waarde lijkt nog redelijk nauwkeurige resultaten te geven.

Grote $S_0 \rightarrow$ kleinere Δx

$$S_0 = l / \Delta x \quad (\text{zie p. 12})$$



De gevoeligheid voor de wrijvingscoëfficiënt.

Over de waarde van de wrijvingscoëfficiënt bestaat onduidelijkheid. De wrijvingscoëfficiënt wordt gedefiniëerd als in (2a). De waarde zou moeten afhangen van de ruwheid van het talud. Gegevens over de gebruikte steendiameters moeten in deze coëfficiënt verwerkt worden. Omdat in het model de permeabiliteit van de stortsteenlaag niet in beschouwing genomen wordt, moet de invloed van de permeabiliteit ook in de wrijvingscoëfficiënt verrekend worden.

Bij gegeven talud en inkomende golf moet de waterbeweging met de wrijvingscoëfficiënt geijkt worden.

Een empirische formule van Madsen en White (zie Bijlage I) levert voor de proeven van Ahrens waarden van de wrijvingscoëfficiënt die variëren van 0,13 tot 0,31 [9]. Deze formule kan echter niet gebruikt worden om vooraf de wrijvingscoëfficiënt te bepalen omdat de golfoploop bekend moet zijn. Er is nu wel een indicatie van de grootte van de wrijvingscoëfficiënt. De numerieke resultaten beschreven in hoofdstuk 3 zijn verkregen met een waarde van de wrijvingscoëfficiënt van 0,30. Overigens zijn in de zes gekozen testen van Ahrens niet dezelfde steendiameters gebruikt, zodat het misschien niet juist is dat de wrijvingscoëfficiënt in alle testen dezelfde is. *golf (R_a) varieert ook*

Waarom
relatieve
maat?
 $R_r \cdot \frac{R_u(F)}{R_u(F'=0.36)}$?

In de figuren 19a en 19b is voor verschillende waarden van de surf similarity parameter de invloed van de wrijvingscoëfficiënt te zien. Als parameters die de waterbeweging representeren zijn gekozen:

- de golfoploop
- de hoogte tussen golfoploop en golfneerloop
- de maximale snelheid op het talud
- de minimale snelheid op het talud

Zoals verwacht nemen de waarden van bovengenoemde parameters af met toenemende bodemwrijving. Het blijkt dat de invloed op de neerloop en de minimale snelheid het grootst is. Dit is te verklaren doordat in de neerloopfase de waterdiepte in de teruglopende watertong klein is zodat de weerstandsterm in de bewegingsvergelijking van de lange golf vergelijkingen relatief belangrijk is.

Er is geen duidelijke invloed van de surf similarity parameter. Bij een hoge waarde van de surf similarity parameter is de hoogte tussen golfoploop en golfneerloop groter zodat een grotere invloed van de bodemwrijvingscoëfficiënt verwacht zou kunnen worden.

4.4 De gevoeligheid voor de minimale waterdiepte.

In de figuren 20a en 20b is de invloed van δ op de waterbeweging te zien. Het blijkt dat vooral de golfneerloop en daarmee de hoogte tussen golfoploop en golfneerloop beïnvloed wordt. Dit is te verklaren doordat in de neerloopfase sprake is van een lange watertong, waarin de gradiënt van de waterdiepte langs het talud klein is. Een kleine verandering van de minimale waterdiepte kan een grote verschuiving van de waterlijn betekenen. De invloed op de golfoploop en de snelheid op het talud is klein.

Omdat de golfneerloop onafhankelijk van de waterbeweging met δ_r geregeld kan worden, is de invloed van δ dus niet zo belangrijk.

Over de waarde van δ_r bestaat onduidelijkheid (zie 3.4.2). Om meer inzicht te krijgen in de waarde van δ_r is de door LWOS berekende golfoploop en golfneerloop vergeleken met meetgegevens. Er wordt vergeleken met de resultaten van schaalmodelproeven uitgevoerd in het Waterloopkundig Laboratorium [3]. Het verloop van de waterlijn in de tijd op een ondoorlatend talud met daarop een permeabele laag van afdekelementen is gemeten (zie fig. 22). Gegevens van deze test zijn te zien in tabel 6.

In fig. 21 is te zien hoe de waarde van δ_r de door LWOS berekende golfoploop en golfneerloop beïnvloedt.

De golfoploop daalt gelijkmatig bij een oplopende waarde van δ_r . De golfneerloop daalt eerst sterk. Bij $\delta_r = 0,8$ m is de golfneerloop maximaal. Daarna wordt de golfneerloop iets kleiner. Dit buigpunt in het verloop van de golfneerloop tegen δ_r geeft een redelijke indicatie van de waarde van de golfneerloop. Ook de gemeten en berekende waarden van de golfoploop en golfneerloop komen redelijk overeen bij deze waarde van δ_r .

0,08?
in de
figuur
(aanbeiden
niet
vermeld)

minimum

Het valt op dat de permeabele laag ook 0,80 m dik is. Blijkbaar is het ondoorlatende talud in het model op te vatten als de onderkant van de permeabele laag in het schaalmodel. De waarde van δ_r is dus van de zelfde grootte-orde als de dikte van de permeabele laag.

δ_r is

Heeft toch niet met
de betekenis van δ_r
te maken?
(zie def. p. 23)

5 KONKLUSIES EN AANBEVELINGEN.

5.1 Konklusies.

Het programma LWOS berekent de waterbeweging op een ondoorlatend talud waar loodrecht invallende golven op lopen. Het programma is getest met regelmatige golven. Het onderzoek is beperkt tot het gebied van plunging tot surging brekers.

De berekende waarden van de waterdiepte en de over de diepte gemiddelde snelheid op het talud zijn in overeenstemming met de door het programma van Kobayashi berekende waarden. Ook de door beide programma's berekende waarden van golfoploop en reflectie komen redelijk overeen.

Uit vergelijking met meetgegevens blijkt dat de berekende golfoploop en reflectiecoëfficiënt redelijk overeenkomt voor plunging brekers. Voor surging brekers wordt de golfoploop en de reflectiecoëfficiënt door LWOS iets overschat.

Het programma kan in het bijzonder met koppeling aan een stabiliteitsberekening van de stenen bij het ontwerp van golfbrekers een nuttig hulpmiddel zijn.

5.2 Aanbevelingen.

Omdat i.v.m. de stabiliteitseis de tijdstap klein gekozen moet worden, wordt de rekentijd groot. Het is misschien mogelijk rekentijd te besparen door een impliciet schema te gebruiken, zodat de stabiliteitseis vervalt en de tijdstap groter gekozen kan worden. Om een nauwkeurige berekening van de plaats van de waterlijn

uit te voeren, is het nodig een kleine stapgrootte te kiezen. I.v.m. de stabiliteit moet dan ook de tijdstap klein gekozen worden zodat de rekentijd groot wordt. Ook dan kan een impliciet schema misschien tijdwinst opleveren.

Met de permeabiliteit van de stortsteenlaag wordt in het model geen rekening gehouden. Kobayashi doet suggesties om de permeabele stortsteenlaag in het model te bouwen [5]. Misschien dat dan voor surging brekers de resultaten verbeteren.

De methode om op de zeewaartse rand de gereflekteerde golfhoogte te berekenen kan misschien verbeterd worden, zodat de reflektiecoëfficiënt beter berekend kan worden.

De waarden ~~van~~ ^{die} de wrijvingscoëfficiënt en δ , moeten krijgen kunnen beter onderzocht worden. Kobayashi geeft aanwijzingen voor de waarde van de wrijvingscoëfficiënt voor gladde taluds. Verder is er nog erg weinig met meetwaarden van de golfneerloop vergeleken. Hiermee kan vooral inzicht in waarde van δ , verkregen worden. Ook kunnen door LWOS berekende snelheden met meetwaarden vergeleken worden. Verder kan het programma met onregelmatige golven getest worden.

LITERATUUR.

1. Ahrens, J. P., "Large wave tank tests of riprap stability", Technical Memorandum No. 51, U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Ft. Belvoir, Va. 22060, May 1975.
2. Baalen, M. van, "Numerieke berekening van de golfbeweging tegen een taludhelling", Afstudeerverslag Technische Hogeschool Delft, Afdeling Civiele Techniek, Vakgroep Vloeistofmechanica, december 1983.
3. Brecker, R. C. den en Vries, M., "Waterbeweging op golfbrekertaluds, benadering van de waterbeweging op een golfbrekertalud door middel van een harmonische analyse van de 5^e orde, verslag modelonderzoek.", Afstudeerverslag Technische Hogeschool Delft, Vakgroep Kustwaterbouwkunde, 5467 deel V, mei 1985.
4. Bruun, P., "Design and construction of mounds for breakwater and coastal protection", Elsevier, 1985.
5. Hibberd, S. en Peregrine, D. H., "Surf and run-up on a beach: a uniform bore", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 95, part 2, pp. 323-345, 1979.
6. Kobayashi, N., "Closure of Riprap stability under wave action", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 112, 1986.
7. Kobayashi, N. en Jacobs, B. K., "Stability of armor units on composite slopes", Journal of

Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 5, September 1985.

8. Kobayashi, N. en Otta, A. K., "Hydraulic stability analysis of armor units", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 2, March 1987.
9. Kobayashi, N., Roy, I. en Otta, A. K., "Wave reflection and runup on rough slopes", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 3, May 1987.
10. Otta, A. K., "Prediction of riprap stability on rough slopes", Masterthesis presented to the University of Delaware, 1986.
11. Richtmyer, R. D. en Morton, K. W., "Difference methods for initial-value problems", Interscience Publishers, 1967.
12. Roos, A., "Mathematisch model voor de berekening van golfoploop", Afstudeerverslag Technische Hogeschool Delft, Afdeling Weg- en Waterbouwkunde, Vakgroep Vloeistofmechanica, Oktober 1972.
13. Roy, I., "Numerical simulation of wave runup on steep rough slopes", Masterthesis presented to the University of Delaware, 1986.

BIJLAGE I.

Madsen en White

$$f' = 0,29 \left(\frac{d'}{h'_{ot}} \right)^{-0,5} \left(\frac{d' \tan(\theta')}{R'_u} \right)^{0,7}$$

*d' niet
gedefinieerd*
→

getal van Ursell

$$U = \frac{H' L'^2}{h'^3_{ot}}$$

surf similarity parameter

$$\xi = \frac{\tan(\theta')}{\sqrt{H' / L'_o}} \quad \text{waarin } L'_o = \frac{g T'^2}{2 \pi}$$

TABELLEN.

test no.	H'(m)	T'(s)	talud	ξ	U	H'/L'	λ	σ	d'(m)
49	1,05	4,20	1:5	1,03	5,9	0,045	0,029	12,8	0,27
32	1,03	5,70	1:3,5	2,00	12,9	0,030	0,057	17,6	0,31
47	0,93	11,30	1:5	2,93	56,5	0,012	0,075	36,7	0,27
7	0,60	5,70	1:2,5	3,67	7,5	0,017	0,061	23,0	0,19
31	0,77	11,30	1:3,5	4,61	46,0	0,010	0,097	40,3	0,19
5	0,81	11,30	1:3,5	6,27	48,8	0,011	0,139	39,3	0,19

Voor alle testen geldt:

$$h'_{ot} = 4,57 \text{ m}$$

$$f' = 0,30$$

$$\delta' = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\delta_r = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$s_o = 101$$

tabel 1 : Gegevens van de modelproeven van Ahrens.

test no.	H'(m)	T'(s)	h' _{ot} (m)	ξ_e	U	R _u
1	0,10	1,4	0,424	1,63	7,8	1,25
2	0,10	2,0	0,424	2,40	18,8	1,56
3	0,10	2,0	0,384	1,87	23,3	1,31
4	0,05	2,0	0,424	3,73	9,4	1,44

Voor alle testen geldt:

$$\tan(\theta_1) = \frac{1}{3}$$

$$\tan(\theta_2) = \frac{1}{6,1}$$

$$\tan(\theta_3) = \frac{1}{3}$$

$$B'_1 = 0,996 \text{ m}$$

$$B'_2 = 0,320 \text{ m}$$

$$f' = 0,30$$

$$\delta = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\delta'_r = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$s_o = 60$$

$$\lambda = 0,05$$

tabel 2 : Gegevens van de modelproeven van Kobayashi & Jacobs.

test no.	Kobayashi	LWOS	relatief verschil
49	0,78	0,70	-10,3 %
32	1,28	1,22	-4,7 %
47	1,38	1,32	-4,3 %
7	1,74	1,68	-3,4 %
31	1,90	1,83	-3,7 %
5	2,03	1,96	-3,4 %

tabel 3 : De door LWOS en het model van Kobayashi berekende golfoploop.

test no.	Kobayashi	LWOS	relatief verschil
49	0,09	0,02	-77,8 %
32	0,26	0,18	-30,8 %
47	0,19	0,16	-15,8 %
7	0,40	0,40	-0,0 %
31	0,46	0,46	-0,0 %
5	0,77	0,76	-1,3 %

tabel 4 : De door LWOS en het model van Kobayashi berekende reflectie.

Ahrens' test no.	dR
49	0,044
32	0,044
47	0,049
7	0,074
31	0,060
5	0,056

tabel 5 : De waarde van dR voor de proeven van Ahrens.

H'	$= 0,107 \text{ m}$
T'	$= 2,07 \text{ s}$
$\tan(\theta)$	$= \frac{1}{4}$
h'_{ot}	$= 0,80 \text{ m}$
ξ	$= 1,98$
U	$= 5,37$
H'/L'	$= 0,021$
λ	$= 0,10$
σ	$= 19,8$
f'	$= 0,30$
δ'	$= 4 \cdot 10^{-4}$
s_o	$= 64$

tabel 6 : Gegevens van de in het W.L. uitgevoerde
modelproeven (S 467).

FIGUREN.

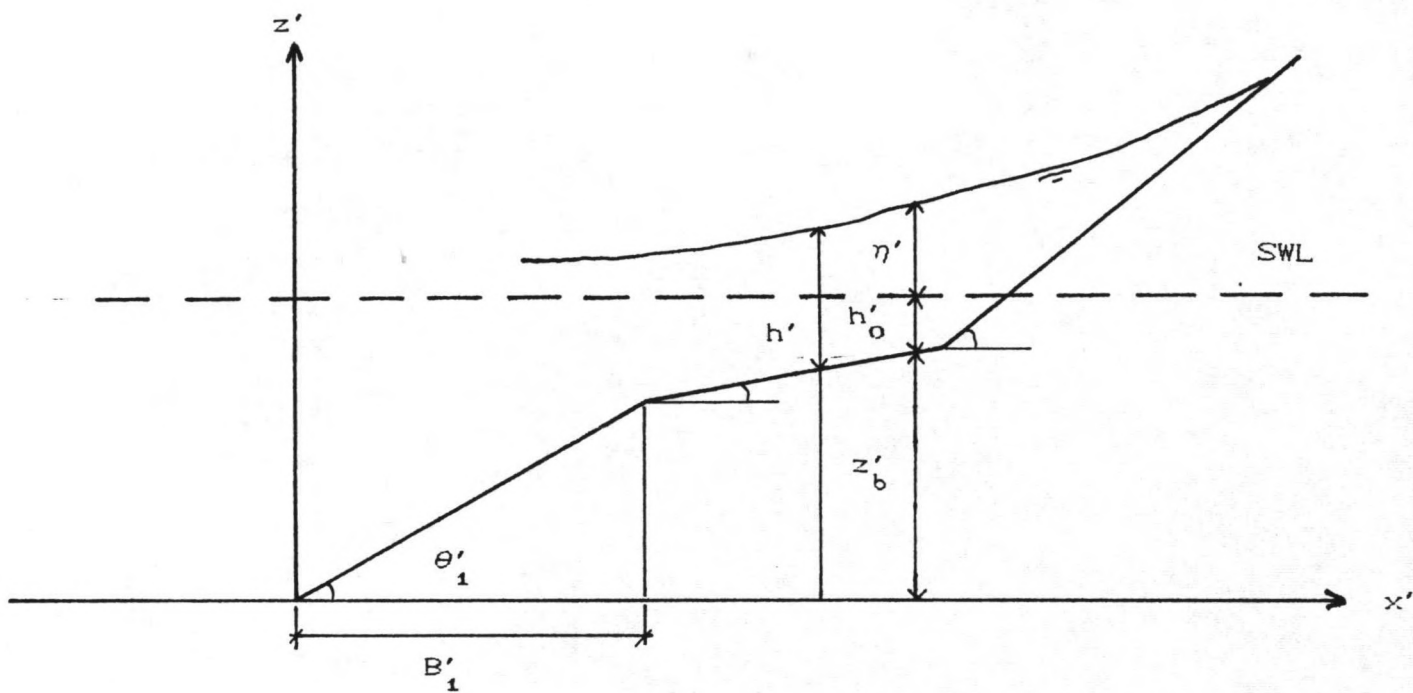


fig. 1 : *Definitie* ~~Situatieschets.~~

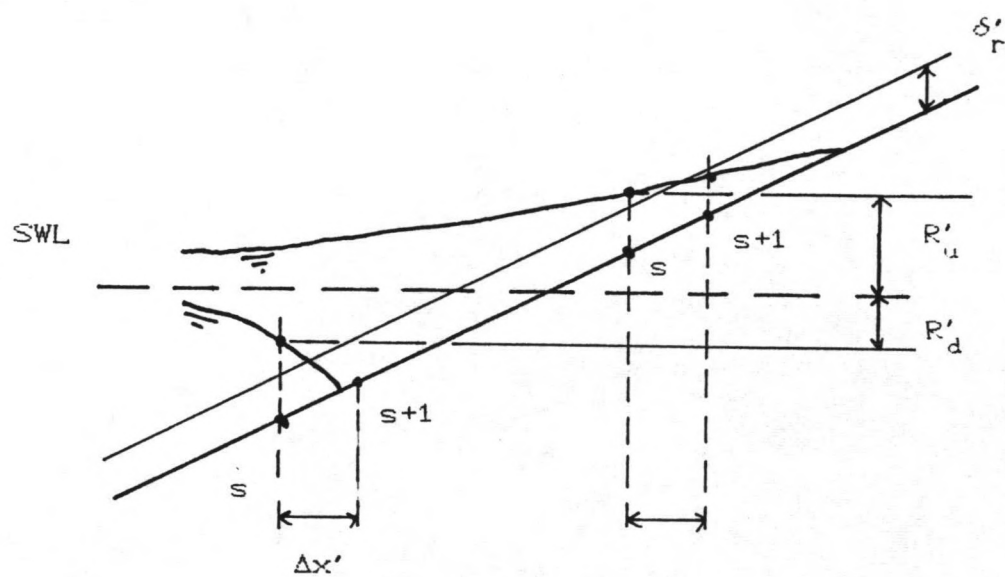


fig. 2 : Definitie van de waterlijn.

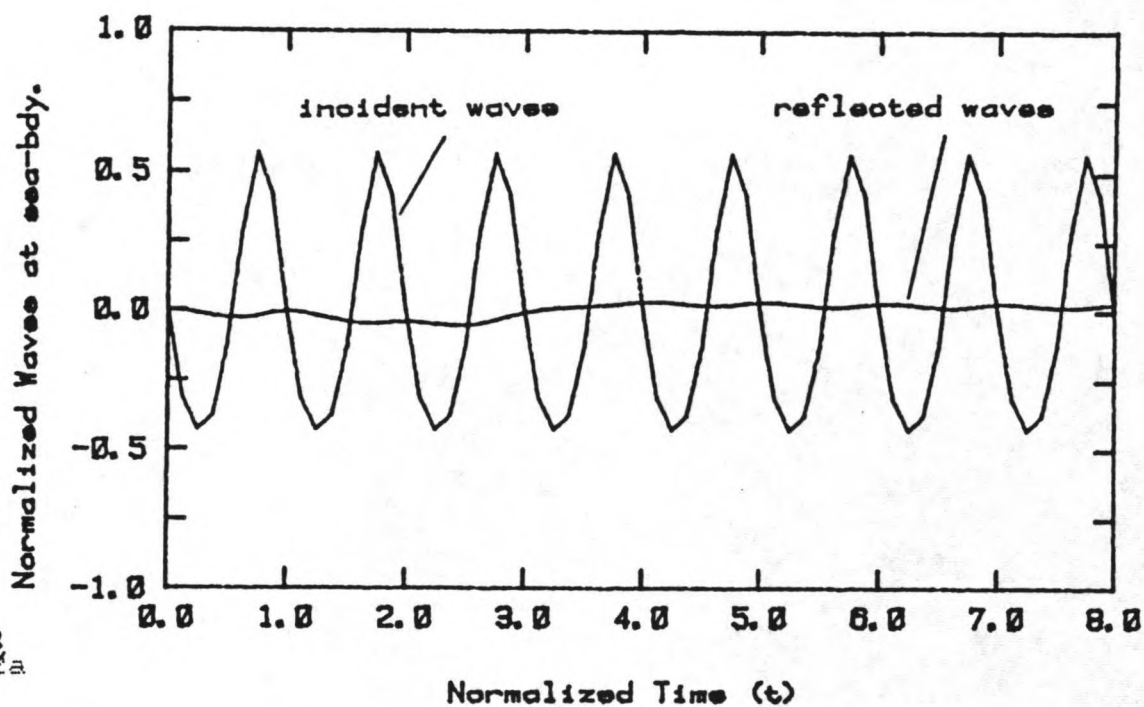


Fig. 3a

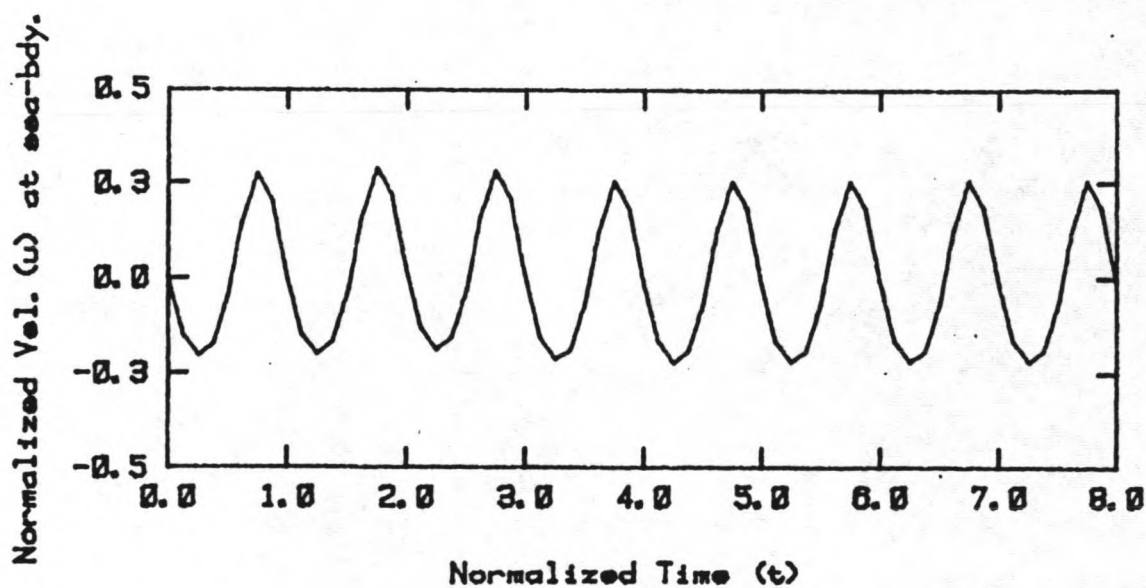


Fig. 3b

Computed Incident and Reflected
Waves and Depth-Averaged Velocity
at the Seaward Boundary for Data
from Ahrens' Test No. 49

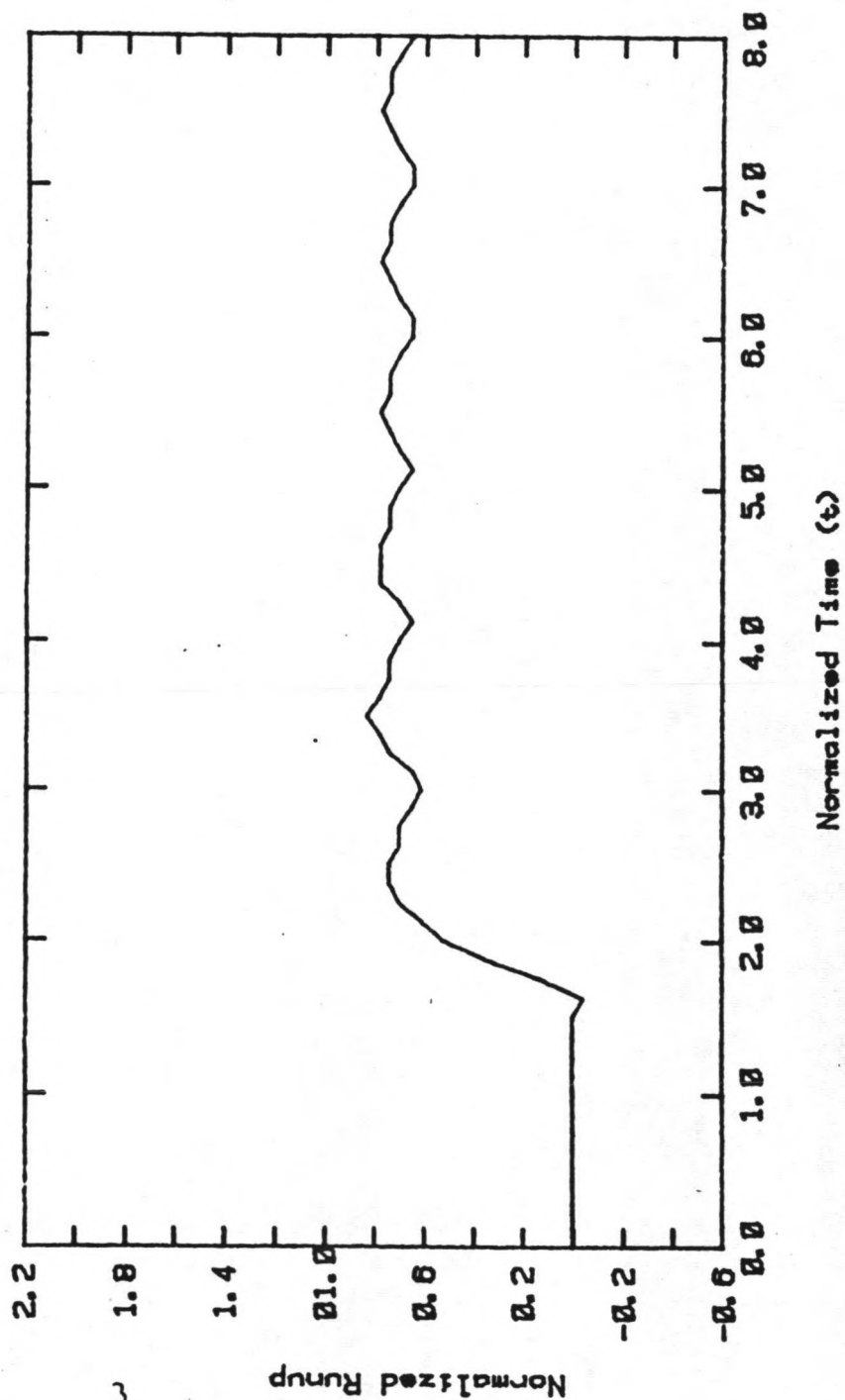


Fig. 3
Ac

Computed Shoreline Motion
for Data from Ahrens'
Test No. 49

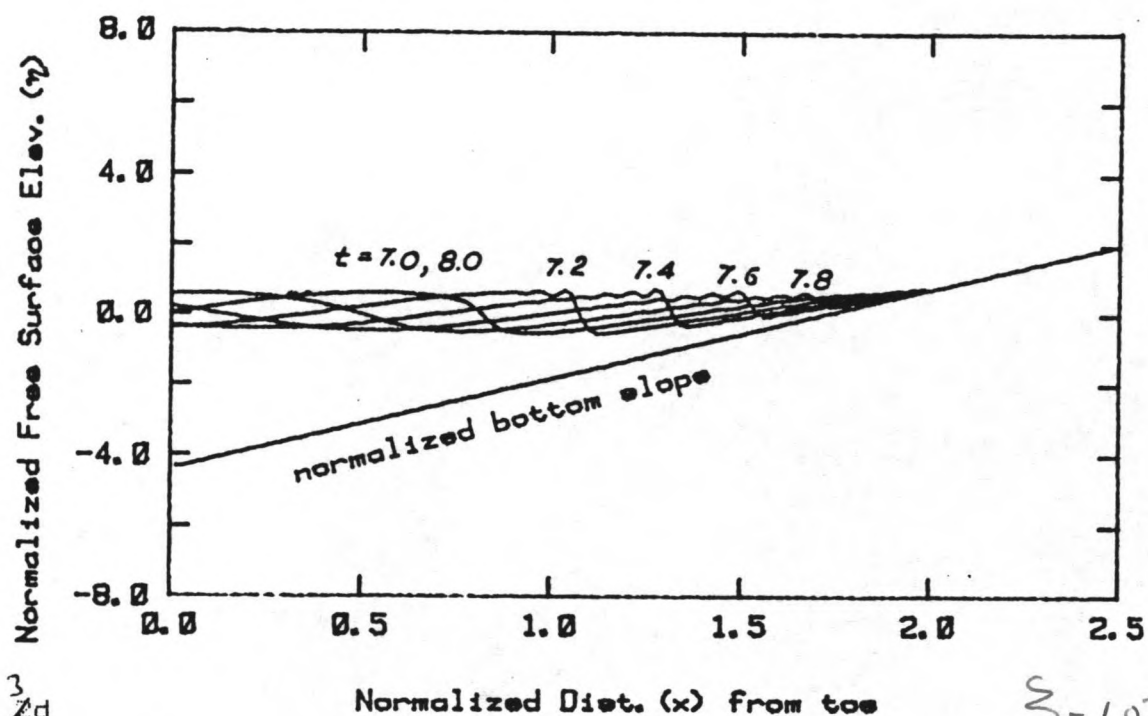


Fig. 3d

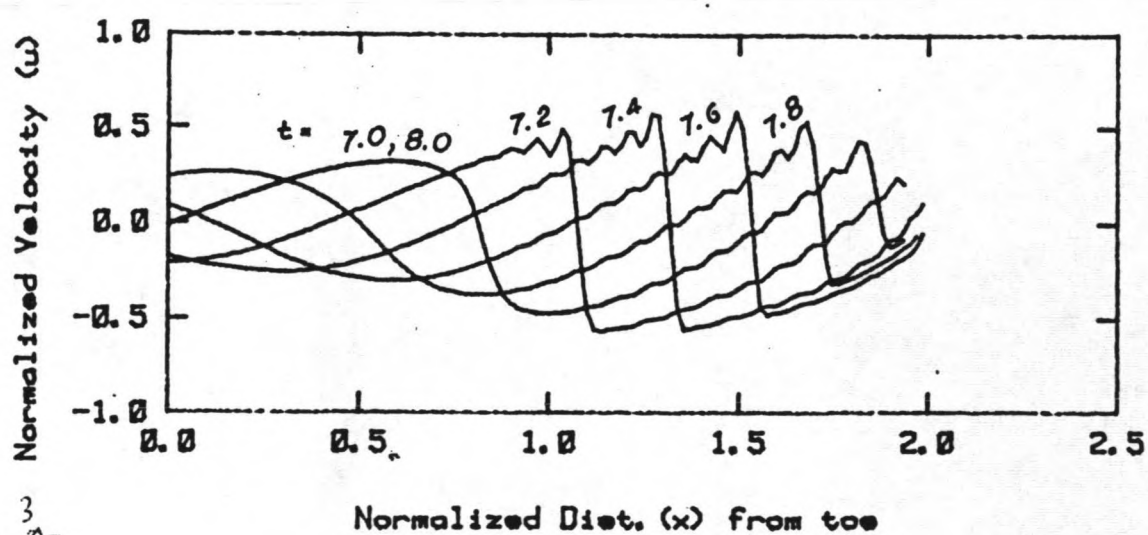


Fig. 3e

Computed Free Surface Elevations
and Depth-Averaged Velocities at
 $t = 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0$
for Data from Ahrens' Test No. 49

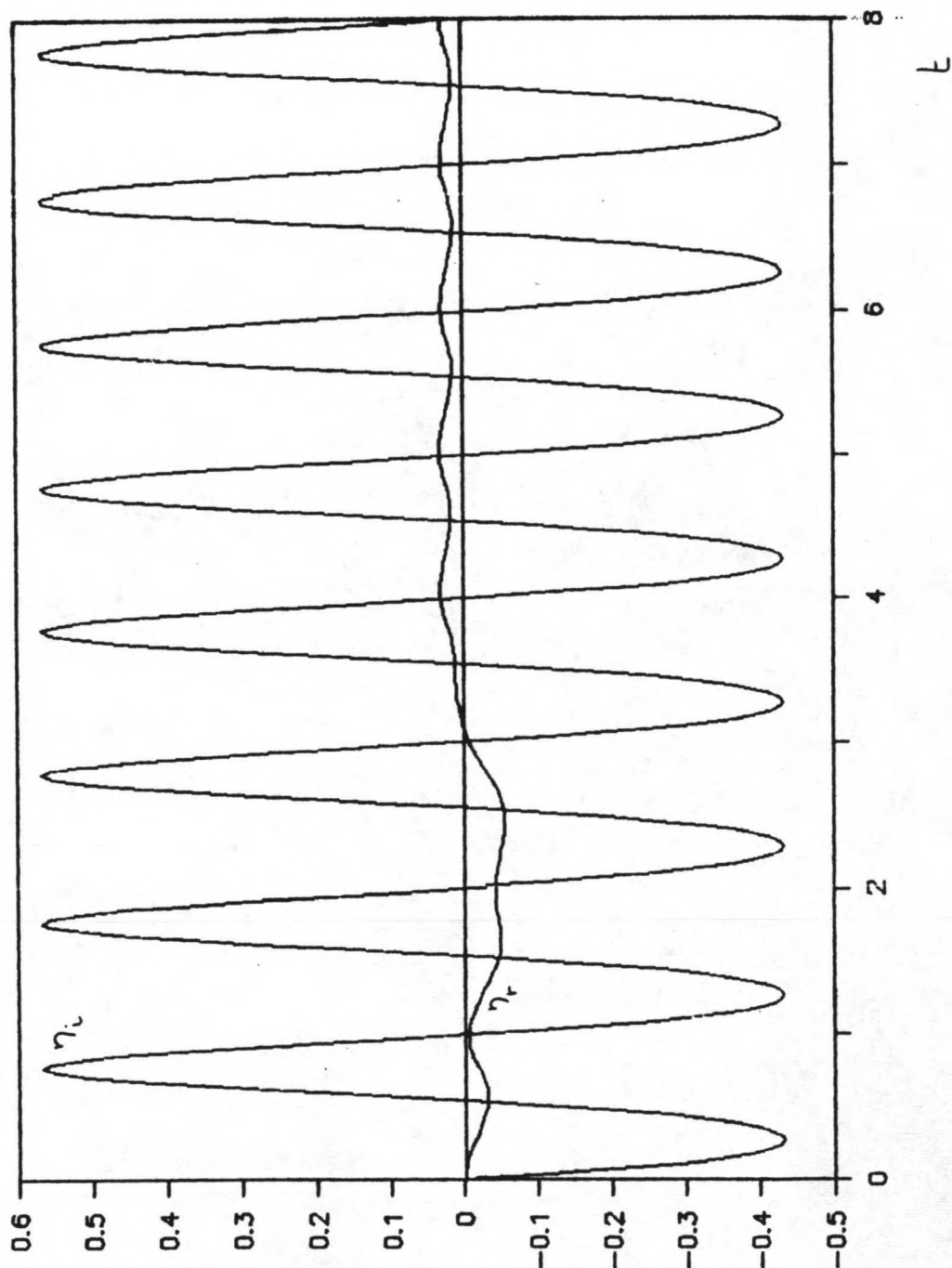


fig. 4a De inkomende en gereflecteerde
 4 golfhoogte tegen de tijd op de
 zeewaartse rand behorende bij
 Ahrens' test no. 49

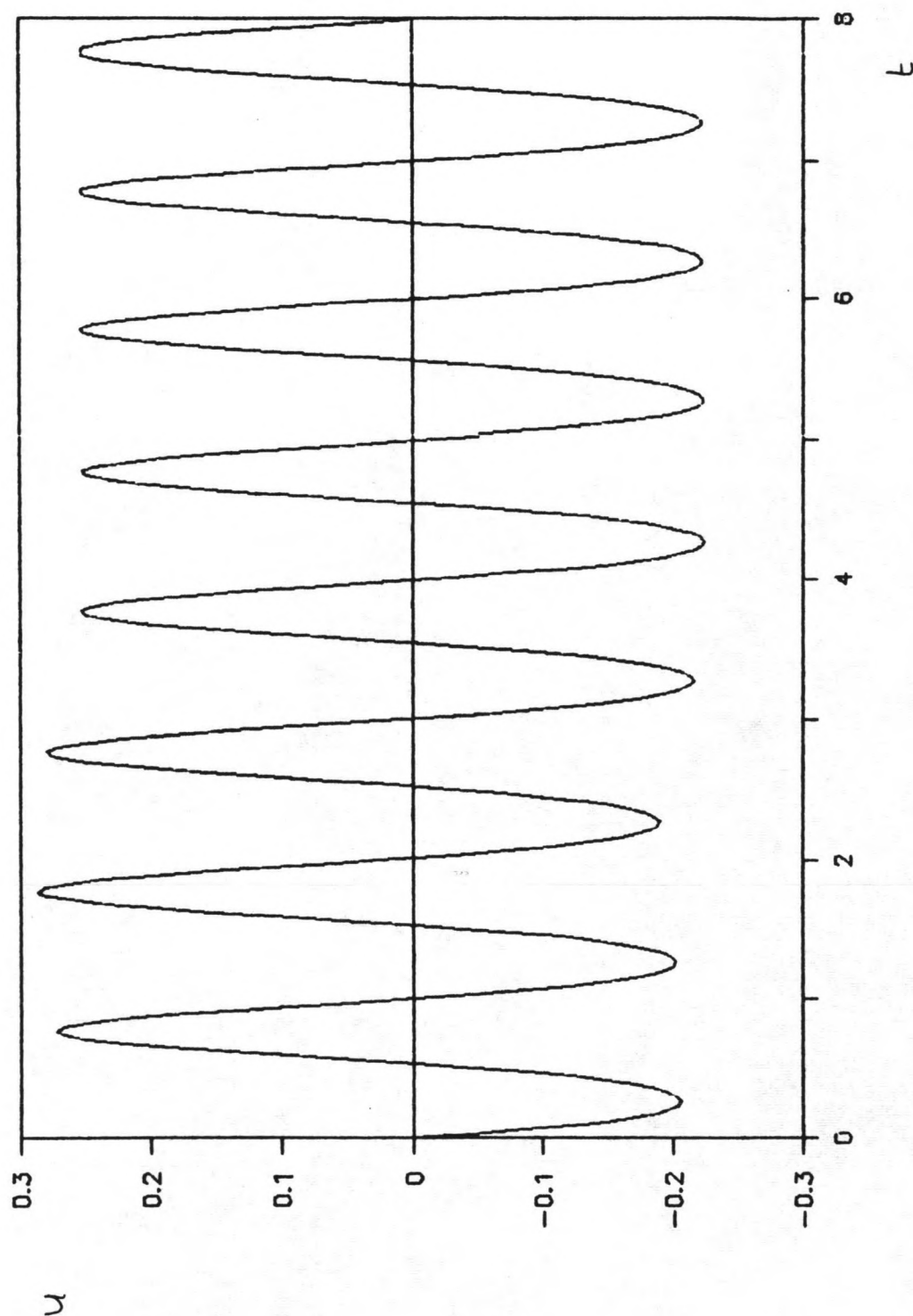


fig. 4b De snelheid tegen de tijd op de
zeewaartse rand behorende bij
Ahrens' test no. 49

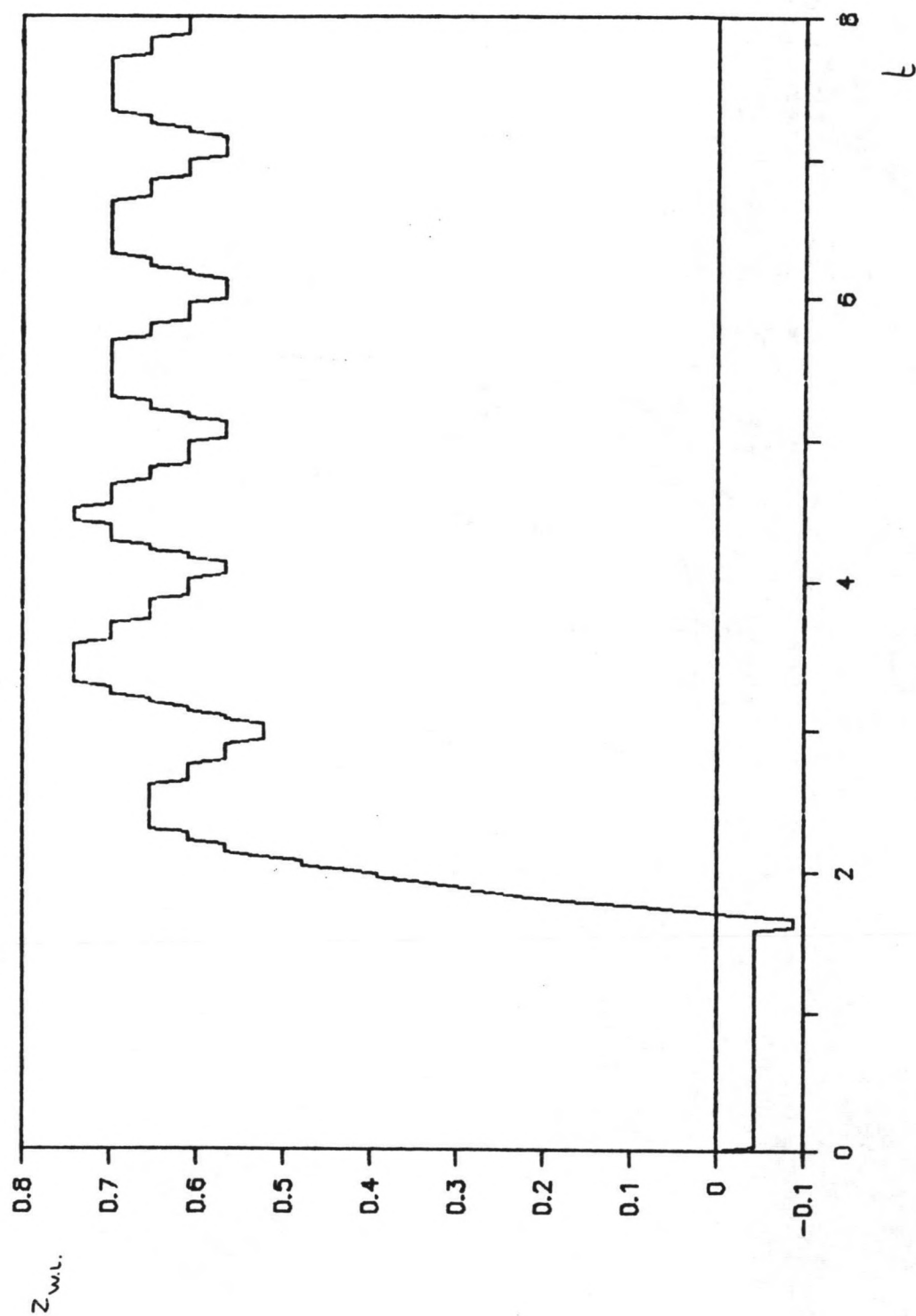


fig. 4c De beweging van de waterlijn
4 tegen de tijd behorende bij
Ahrens' test no. 49

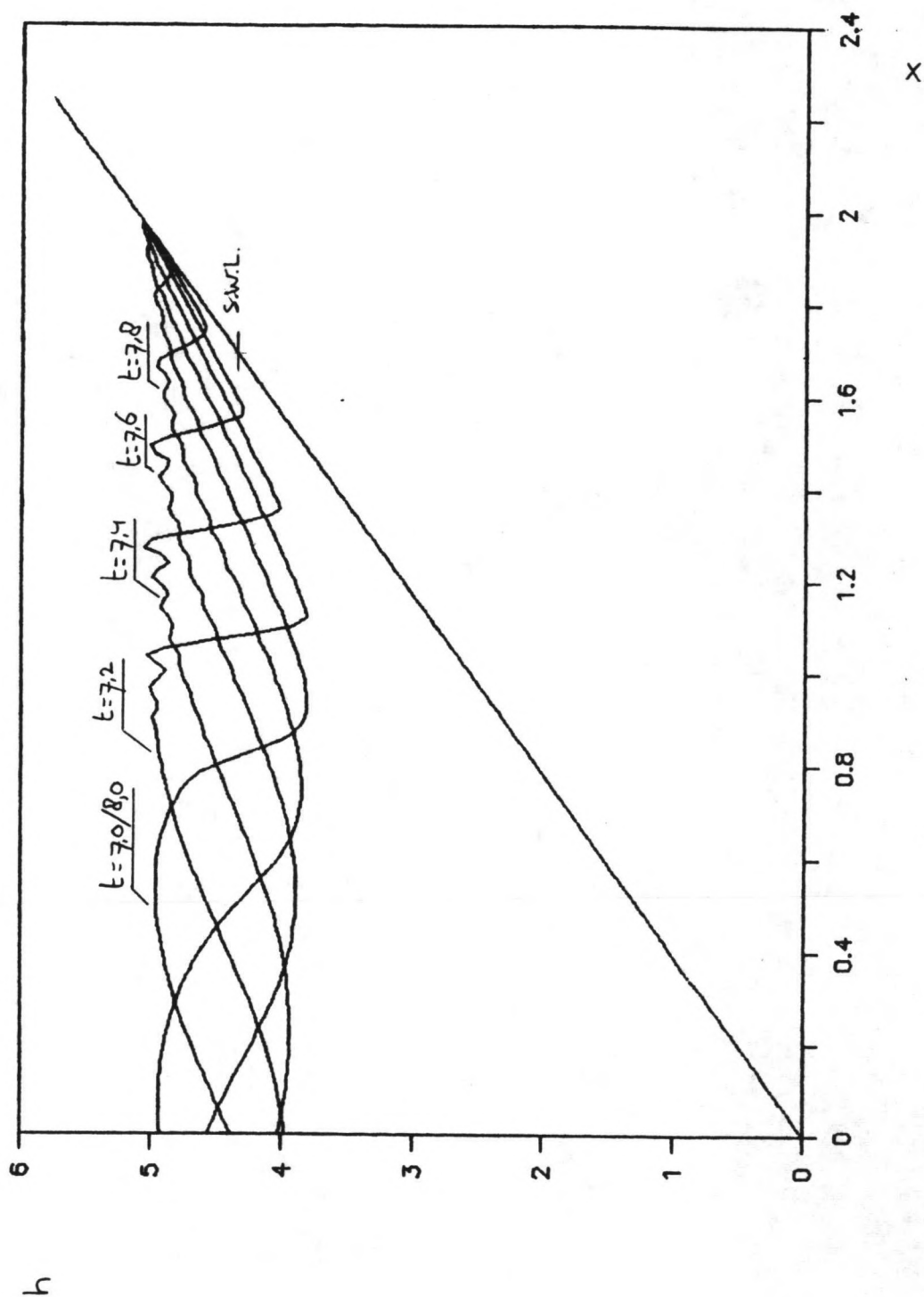
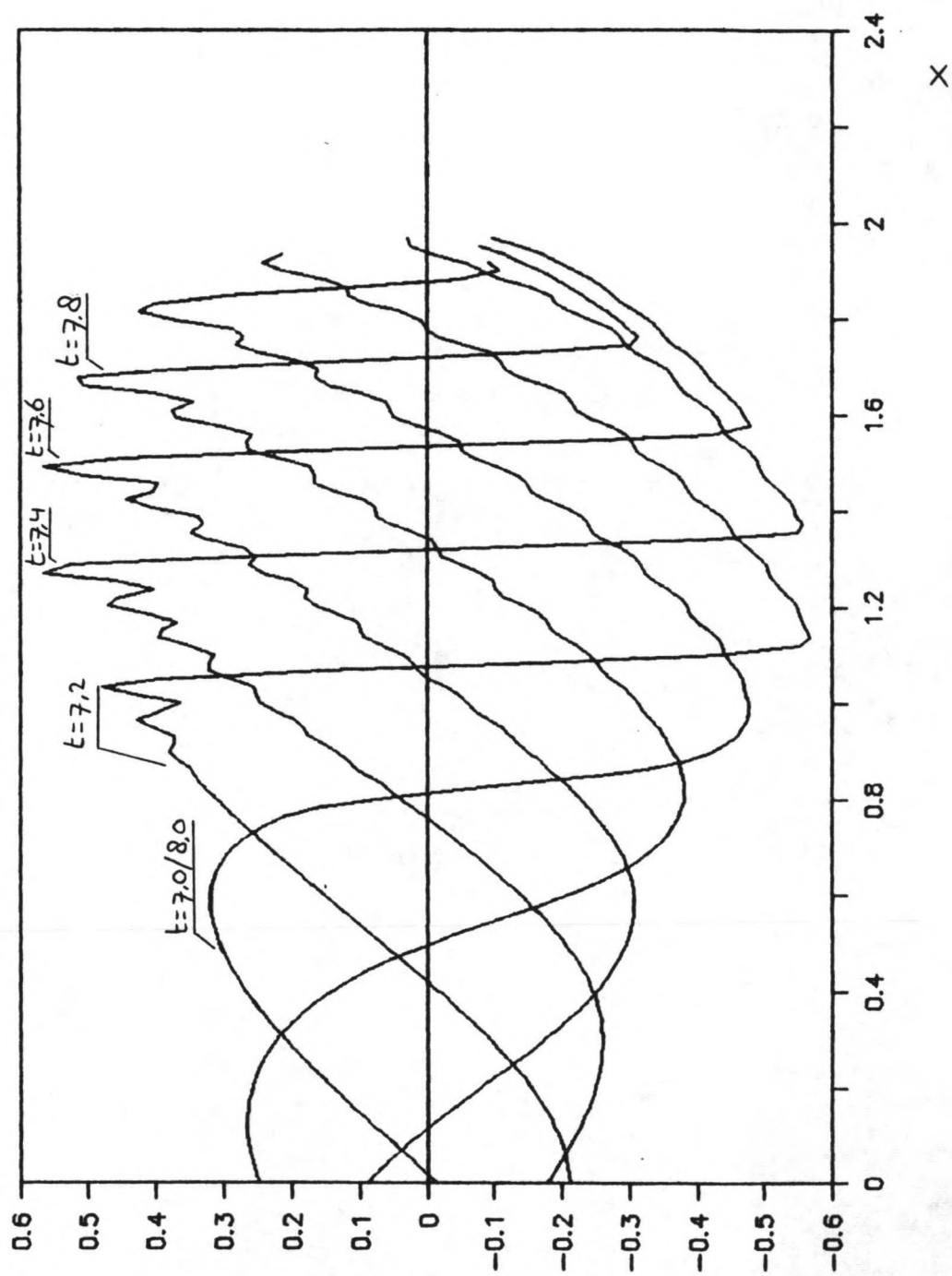


fig. 7d De waterdiepte tegen de plaats
op het talud behorende bij
Ahrens' test no. 49

$\xi = 1.03$



5

fig. 7e De snelheid tegen de plaats op
het talud behorende bij Ahrens'
test no. 49

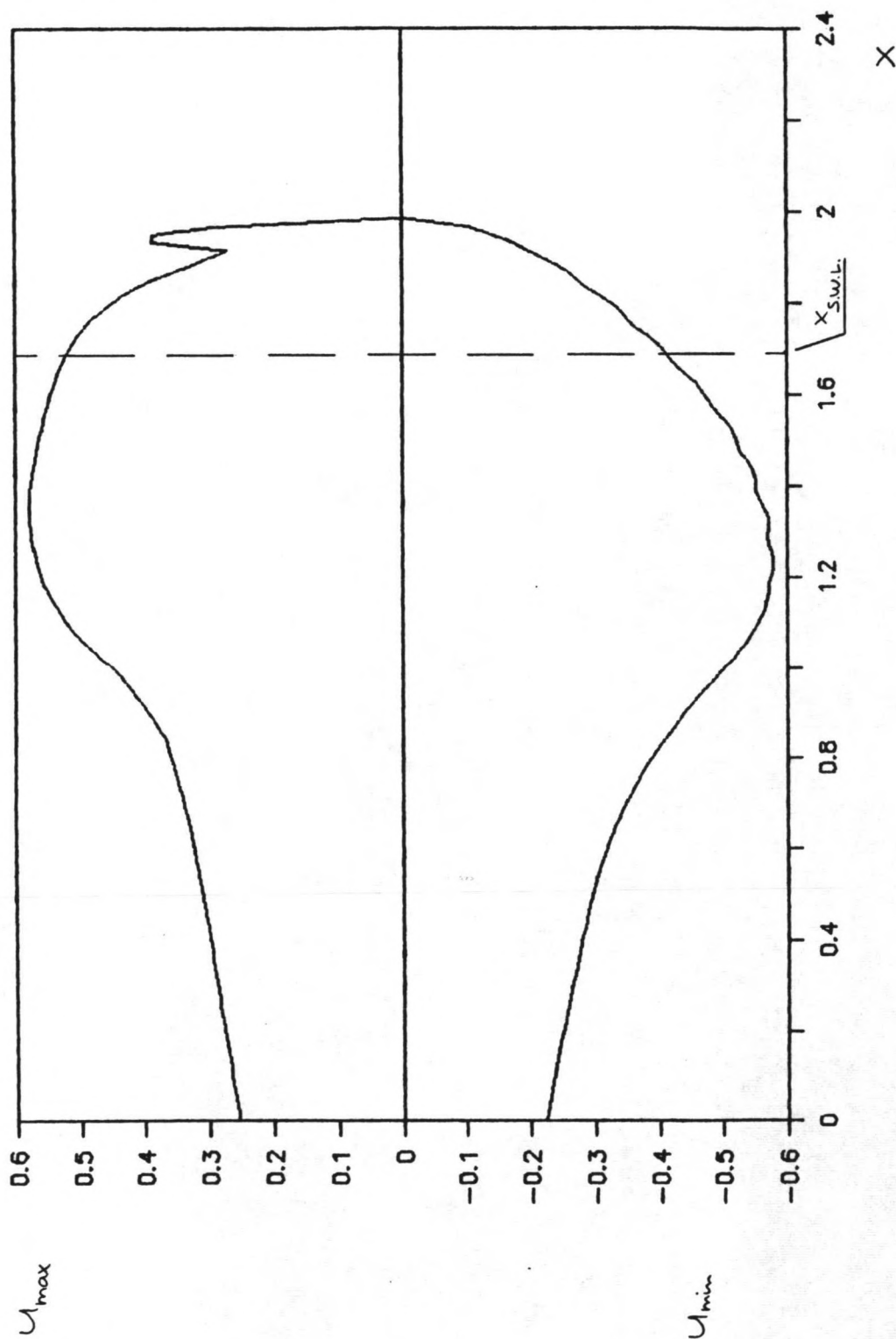


fig. 4f De maximale en minimale snelheid
 4 in de tijd tegen de plaats op het
 talud behorende bij Ahrens' test
 no. 49

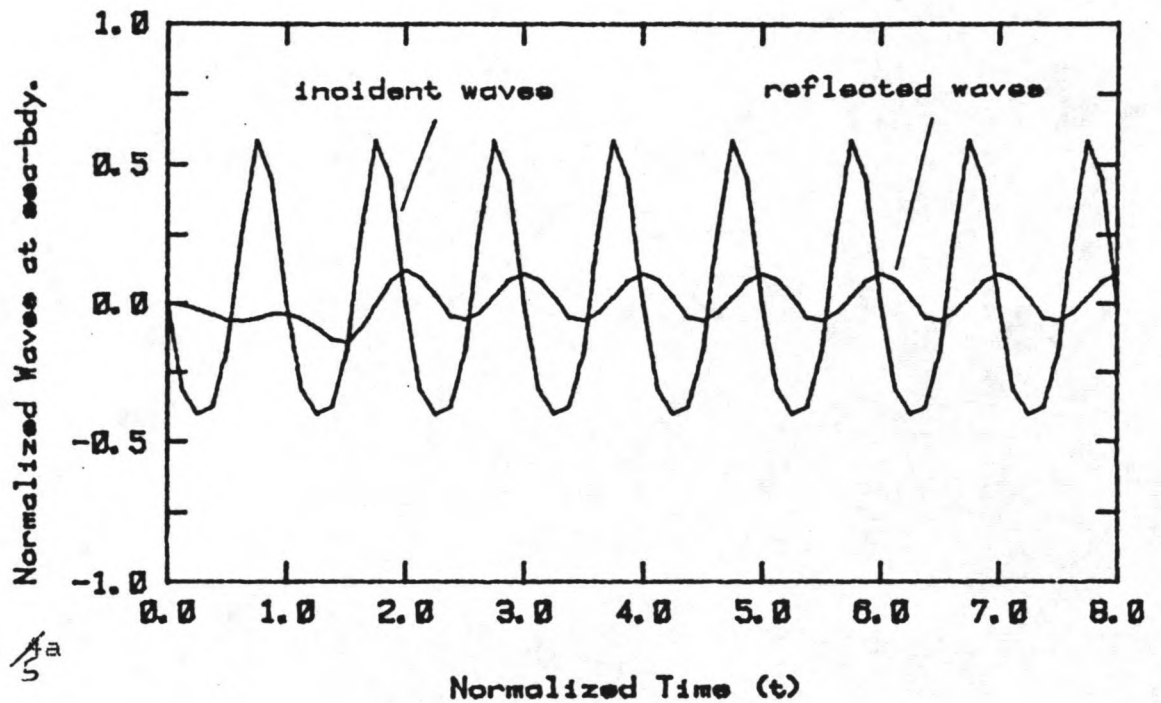


Fig. 4a
5

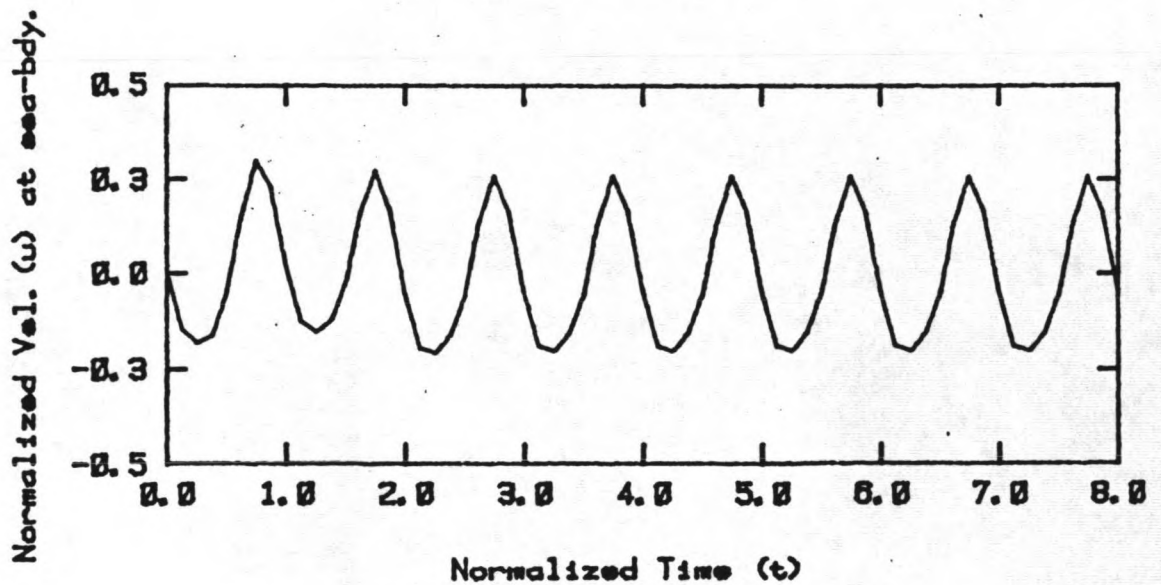
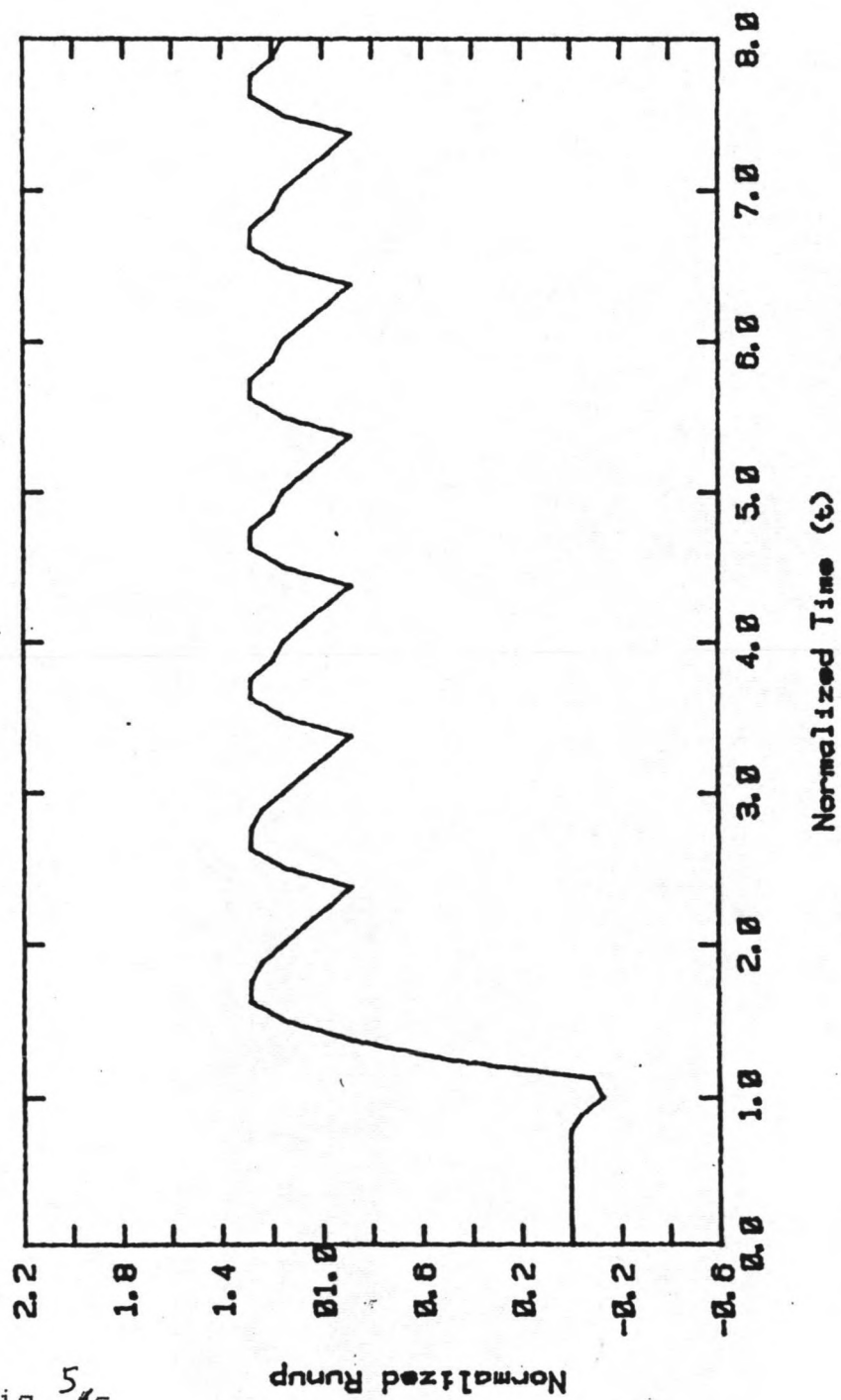


Fig. 4b
5

Computed Incident and Reflected
Waves and Depth-Averaged Velocity
at the Seaward Boundary for Data
from Ahrens' Test No. 32

Fig. 5



Computed Shoreline Motion
for Data from Ahrens'
Test No. 32

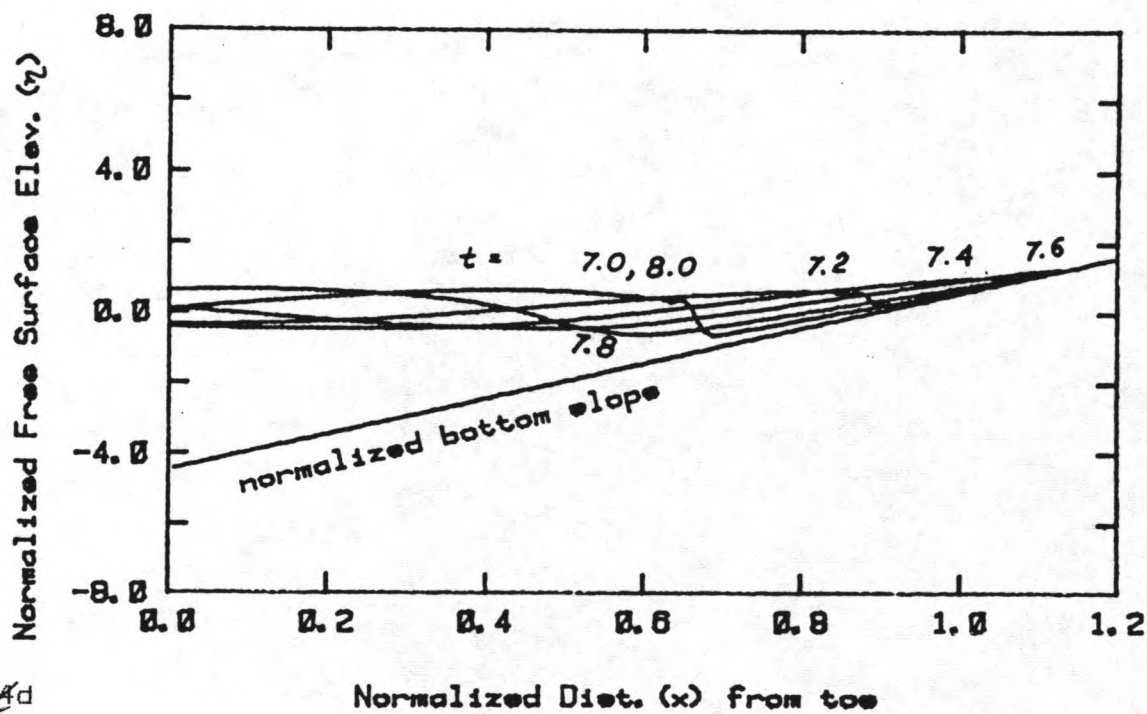


Fig. 4d
5

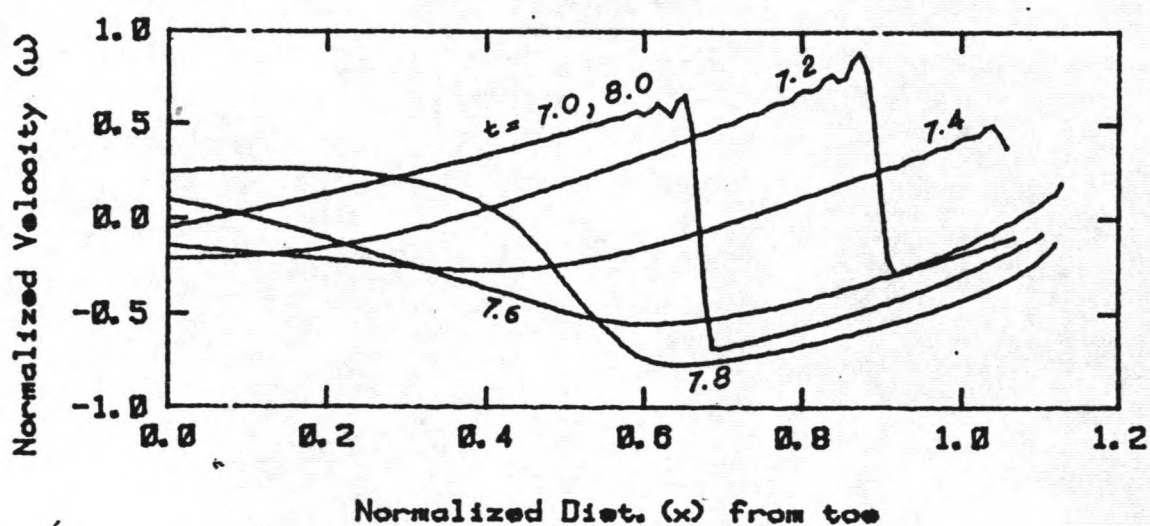


Fig. 4e
5

Computed Free Surface Elevations
and Depth-Averaged Velocities at
 $t = 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0$
for Data from Ahrens' Test No. 32

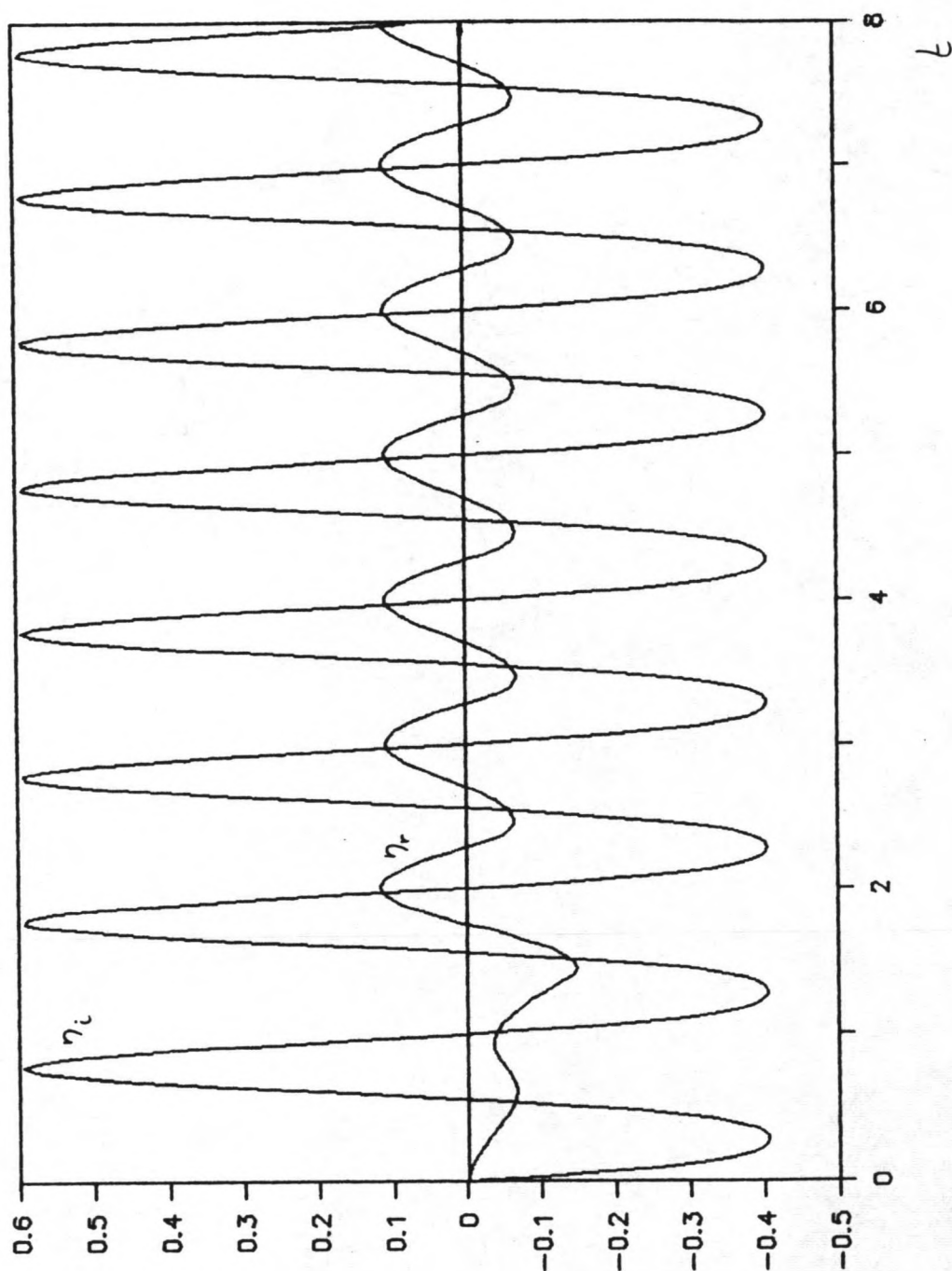


fig. ~~8a~~
6 De inkomende en gereflecteerde
golfhoogte tegen de tijd op de
zeewaartse rand behorende bij
Ahrens' test no. 32

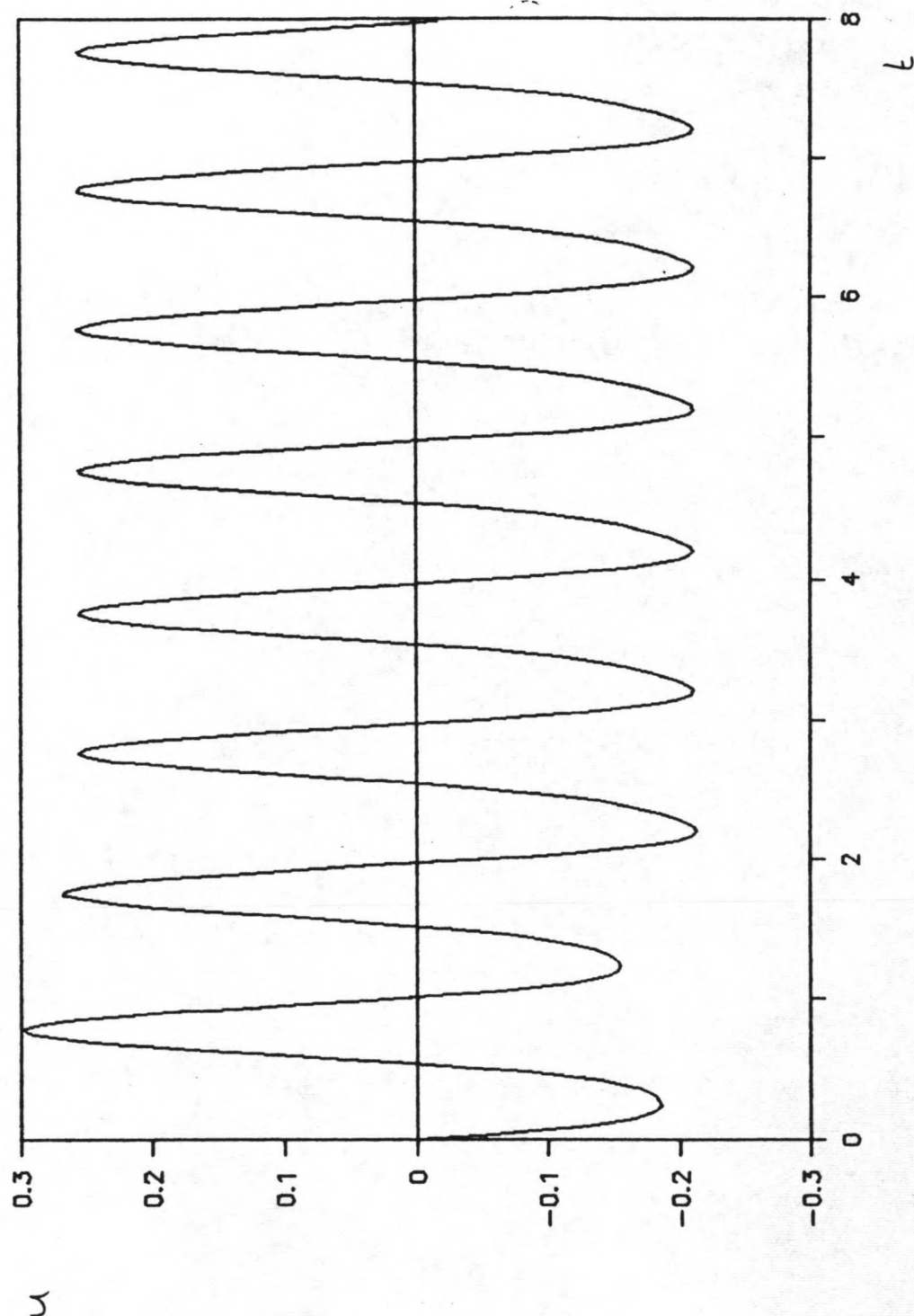


fig. ~~5b~~
6 De snelheid tegen de tijd op de
zeewaartse rand behorende bij
Ahrens' test no. 32

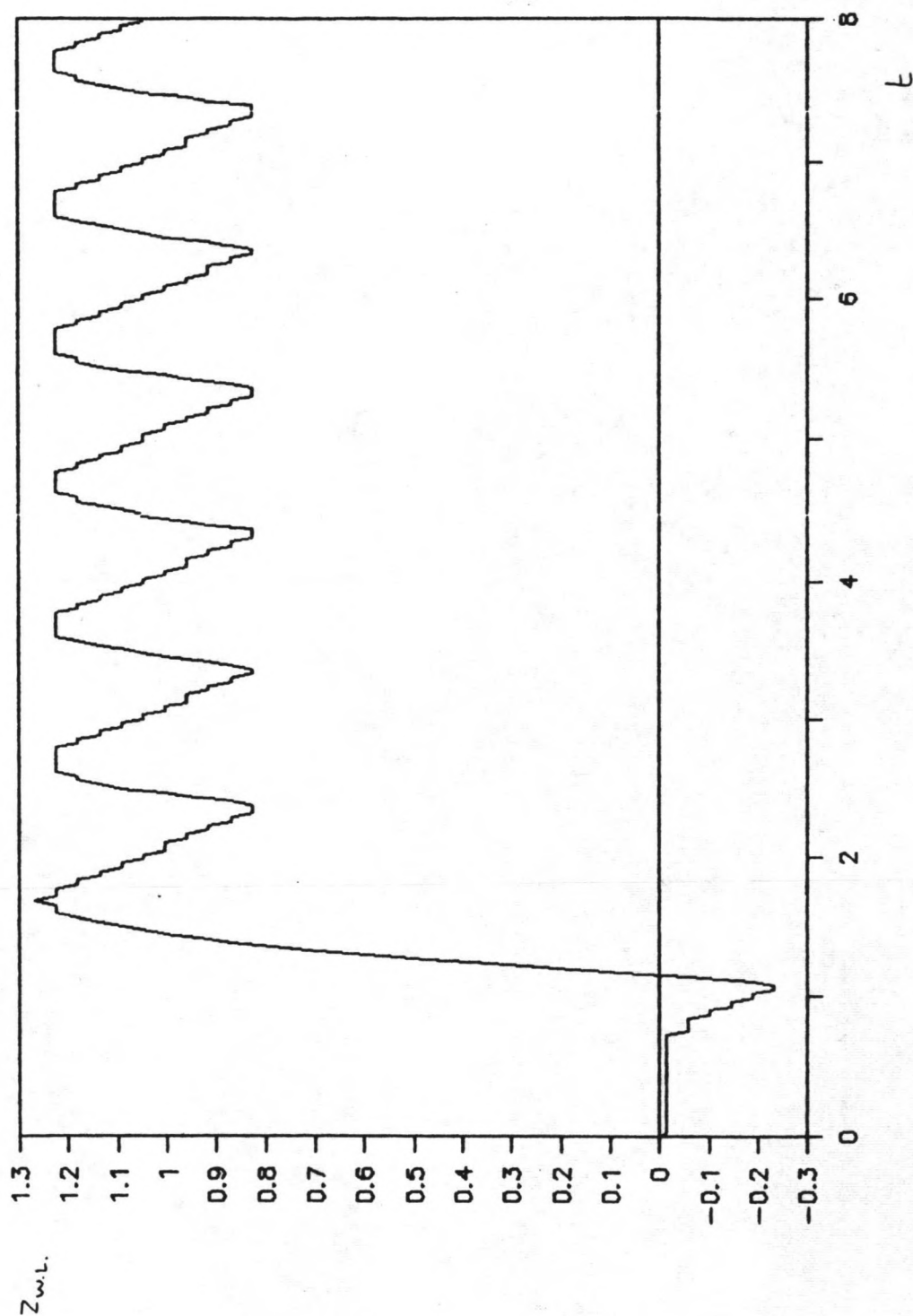


fig. ~~3c~~
6 De beweging van de waterlijn
tegen de tijd behorende bij
Ahrens' test no. 32

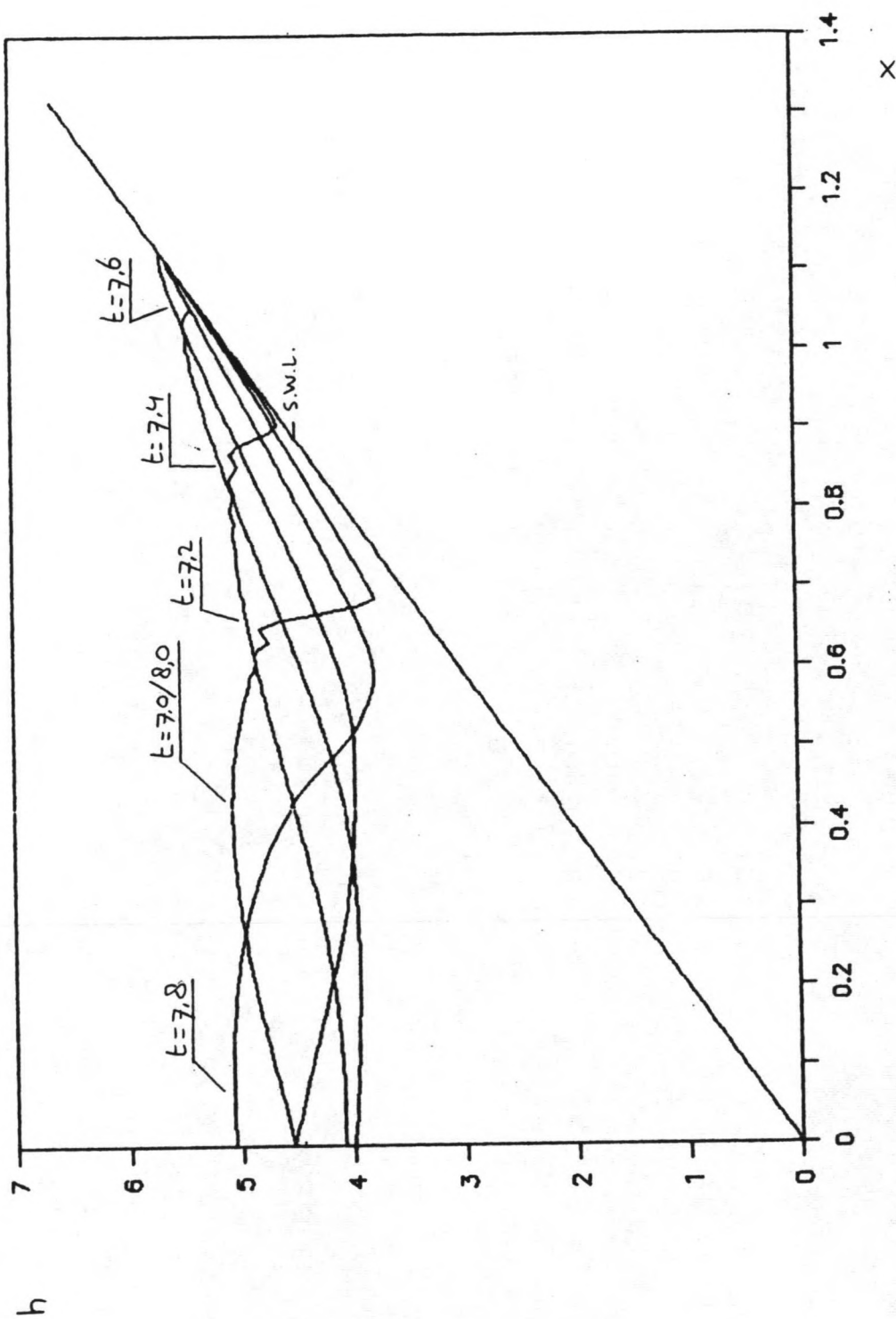


fig. 6d De waterdiepte tegen de plaats
op het talud behorende bij
Ahrens' test no. 32

$\lambda = 2.00$

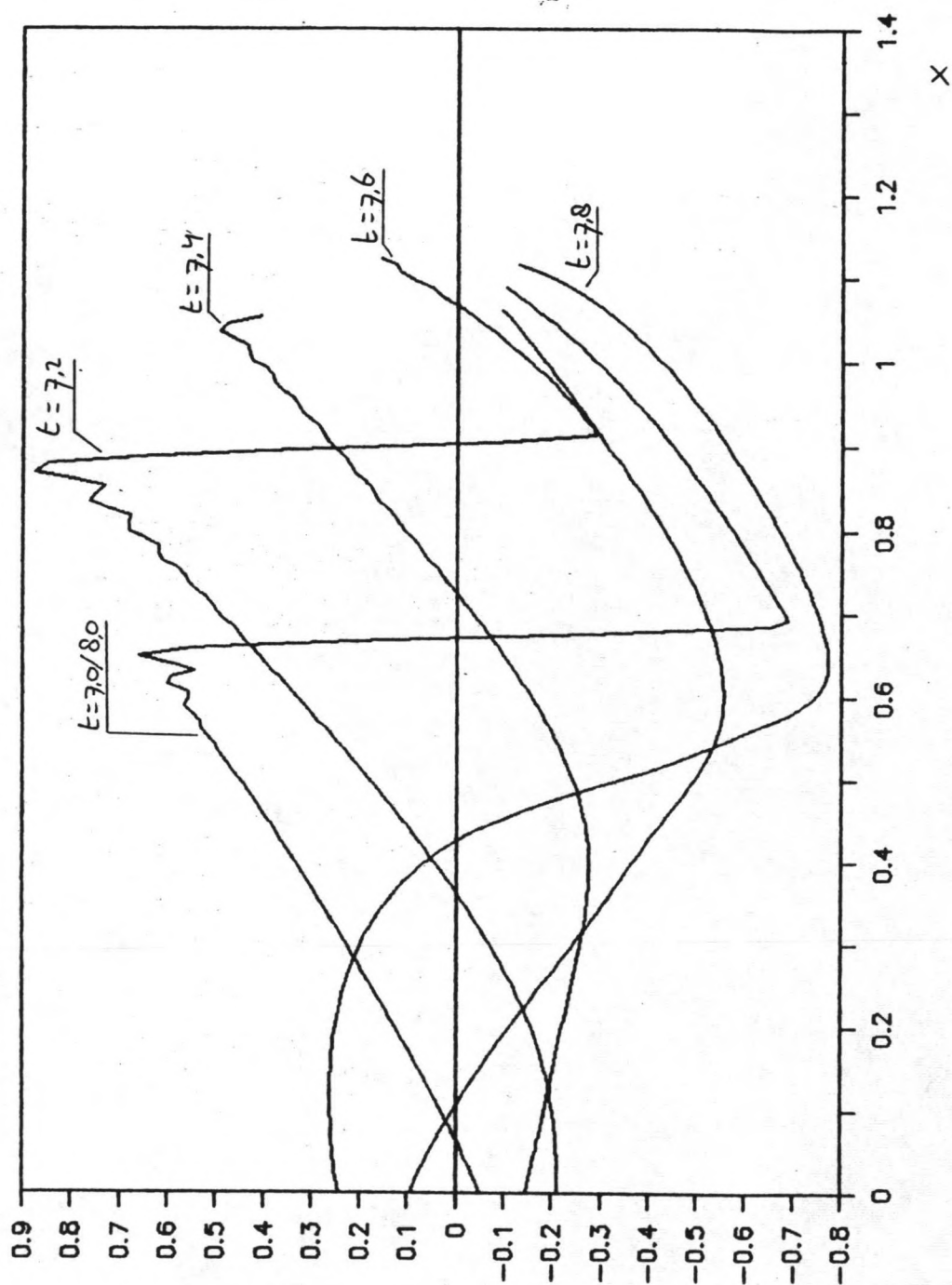


fig. 5e De snelheid tegen de plaats op
 6 het talud behorende bij Ahrens' test no. 32

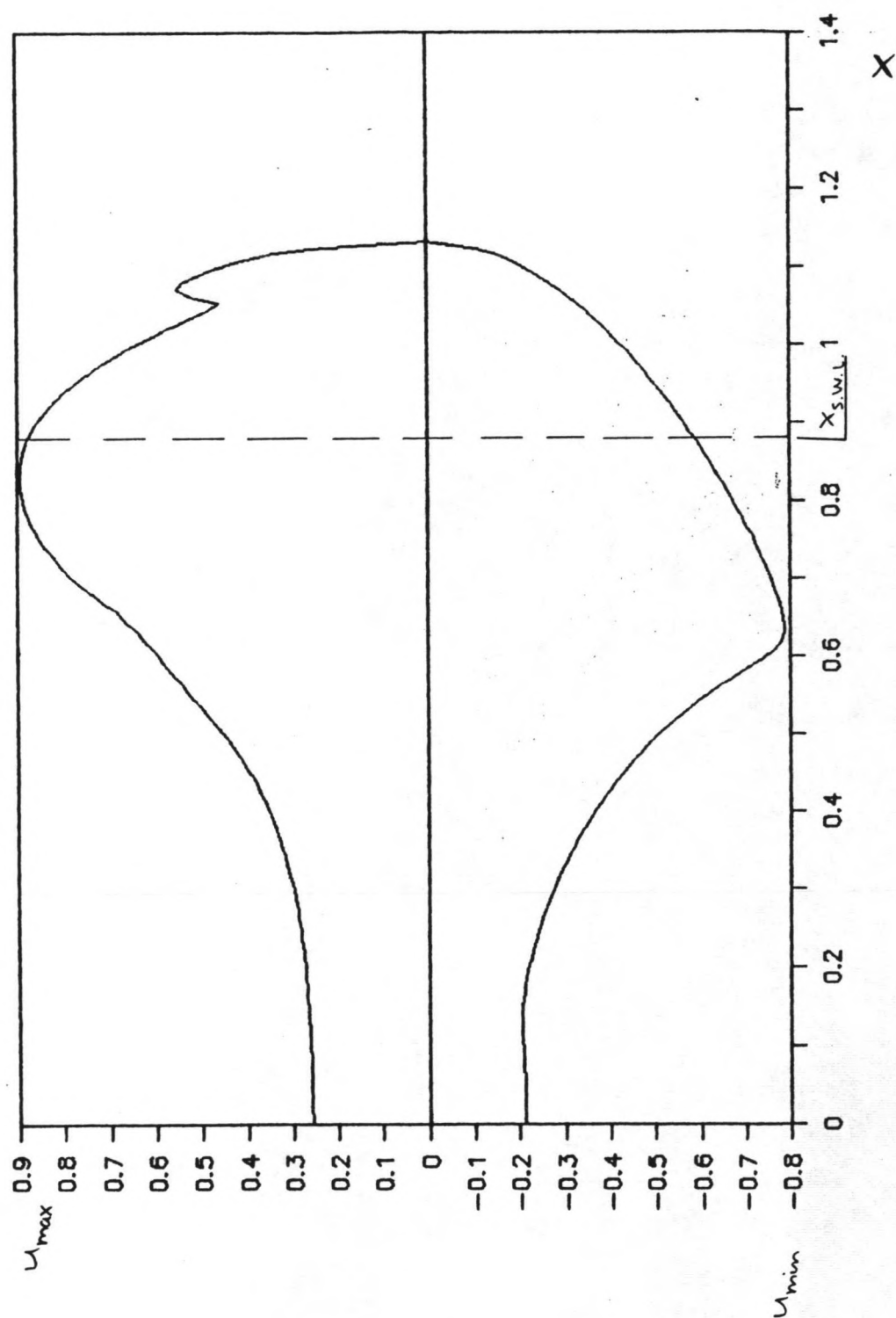


fig. 6 De maximale en minimale snelheid in de tijd tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 32

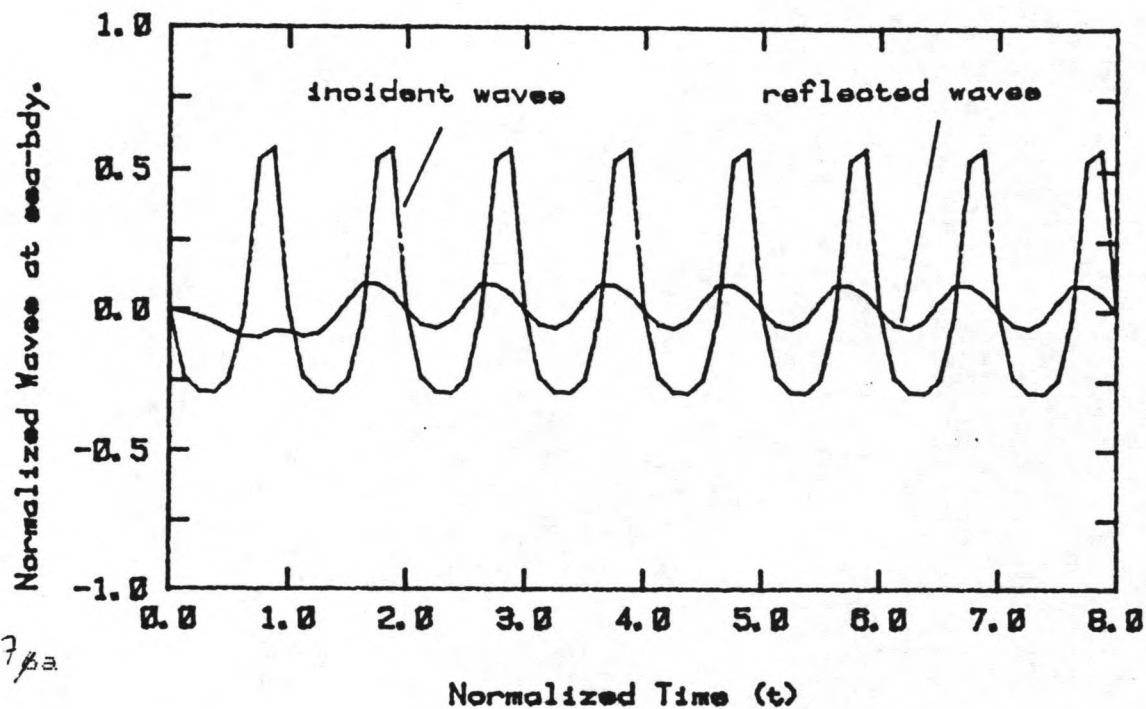


Fig. 7/a

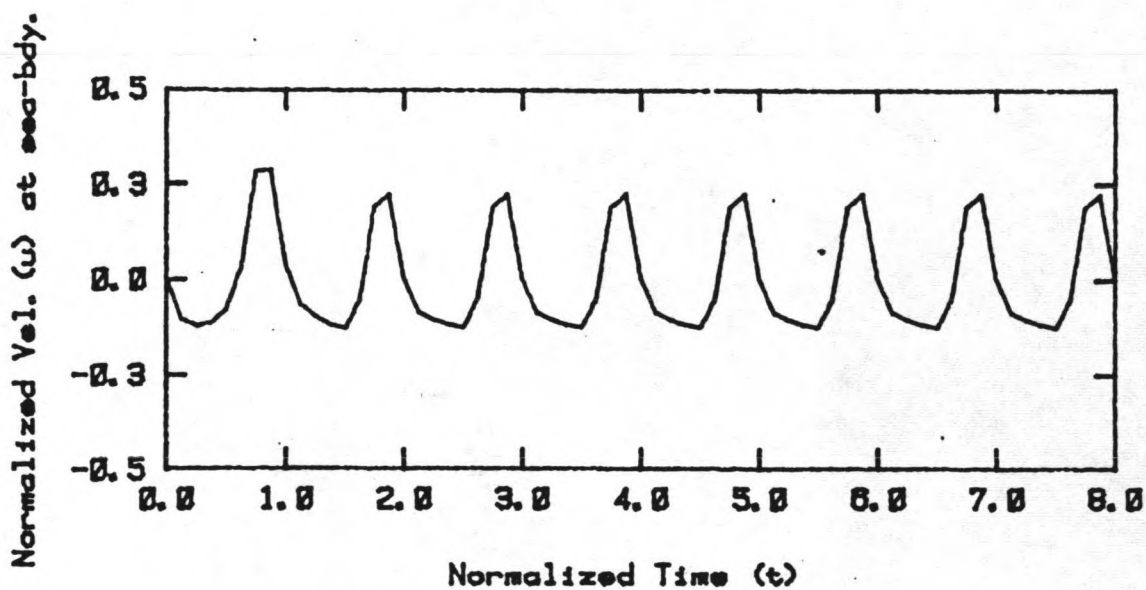
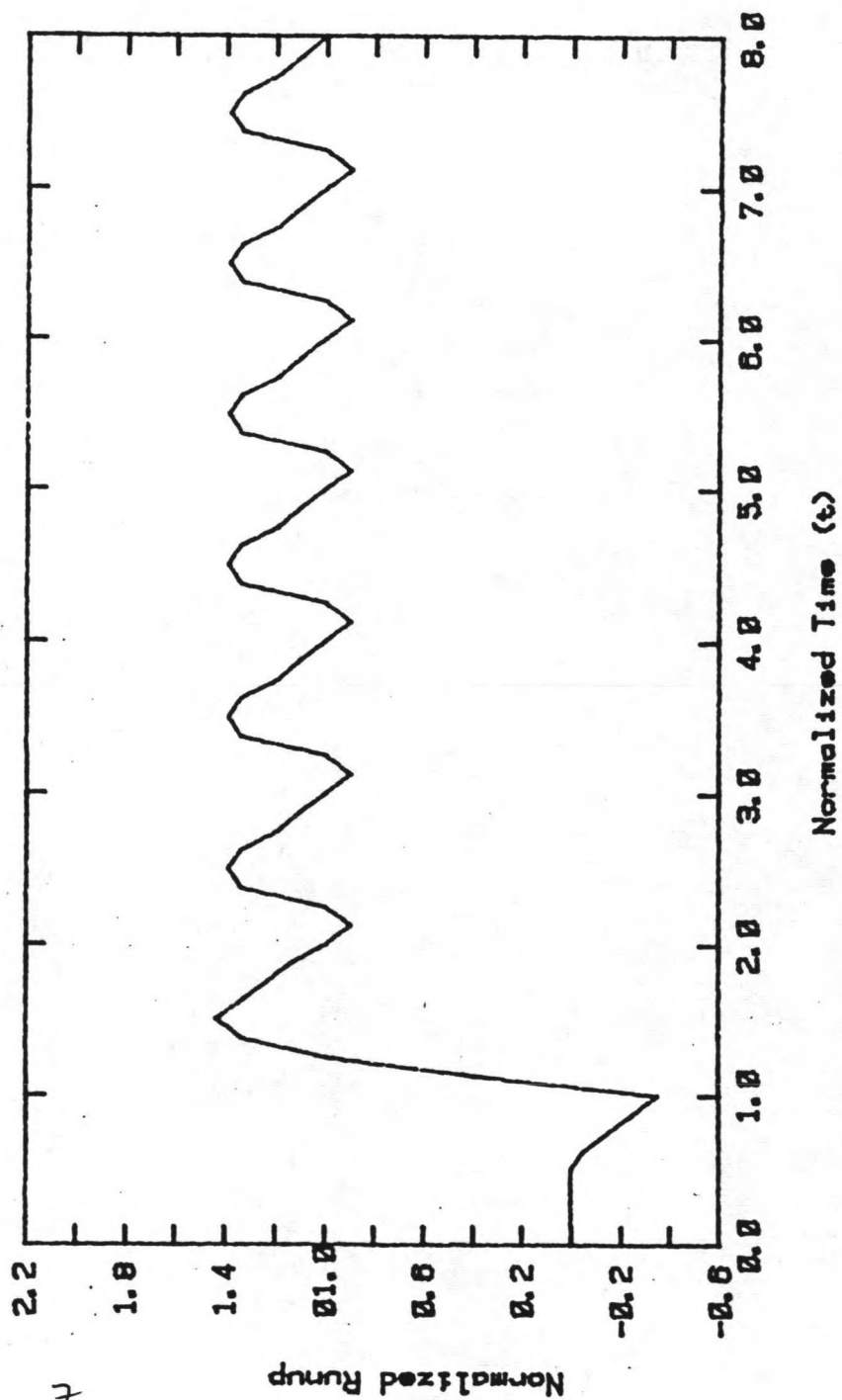


Fig. 7/b

Computed Incident and Reflected
Waves and Depth-Averaged Velocity
at the Seaward Boundary for Data
from Ahrens' Test No. 47

Fig. 7
c



Computed Shoreline Motion
for Data from Ahrens'
Test No. 47

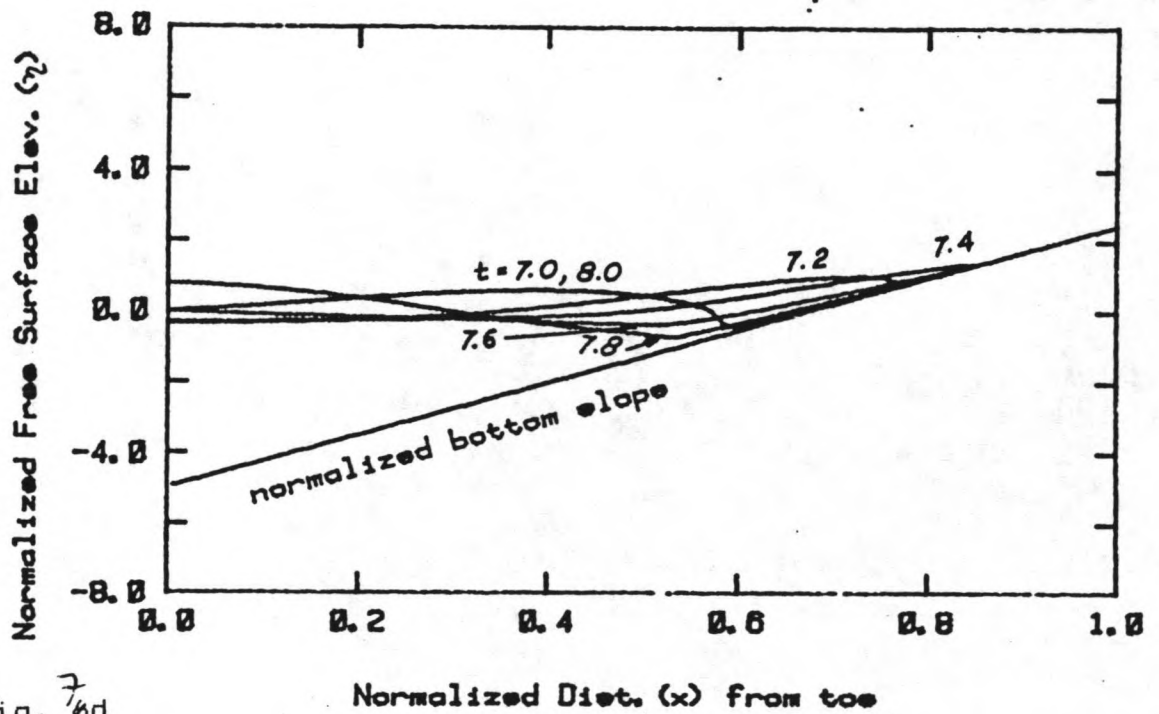


Fig. 7d

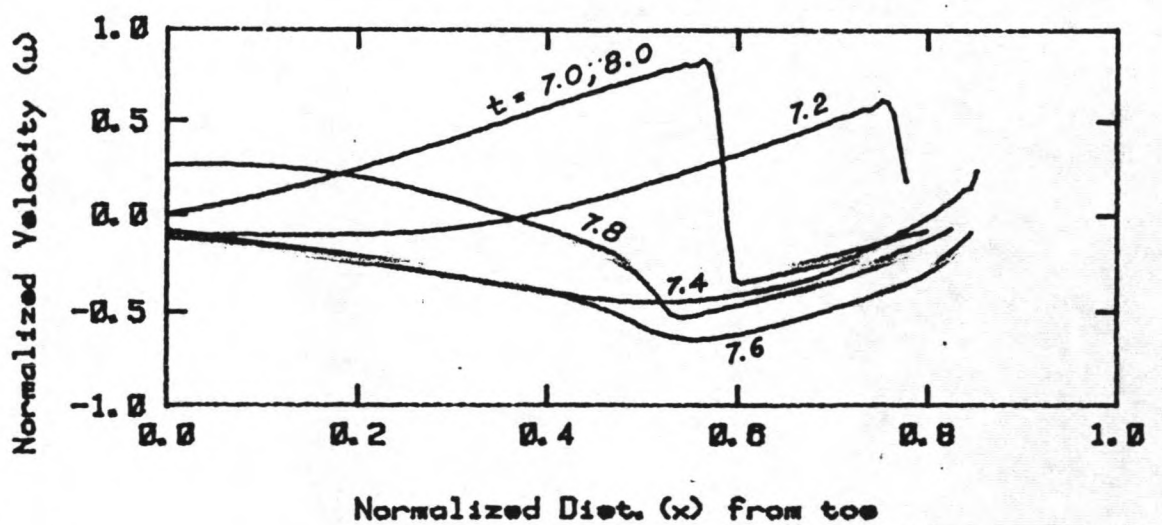
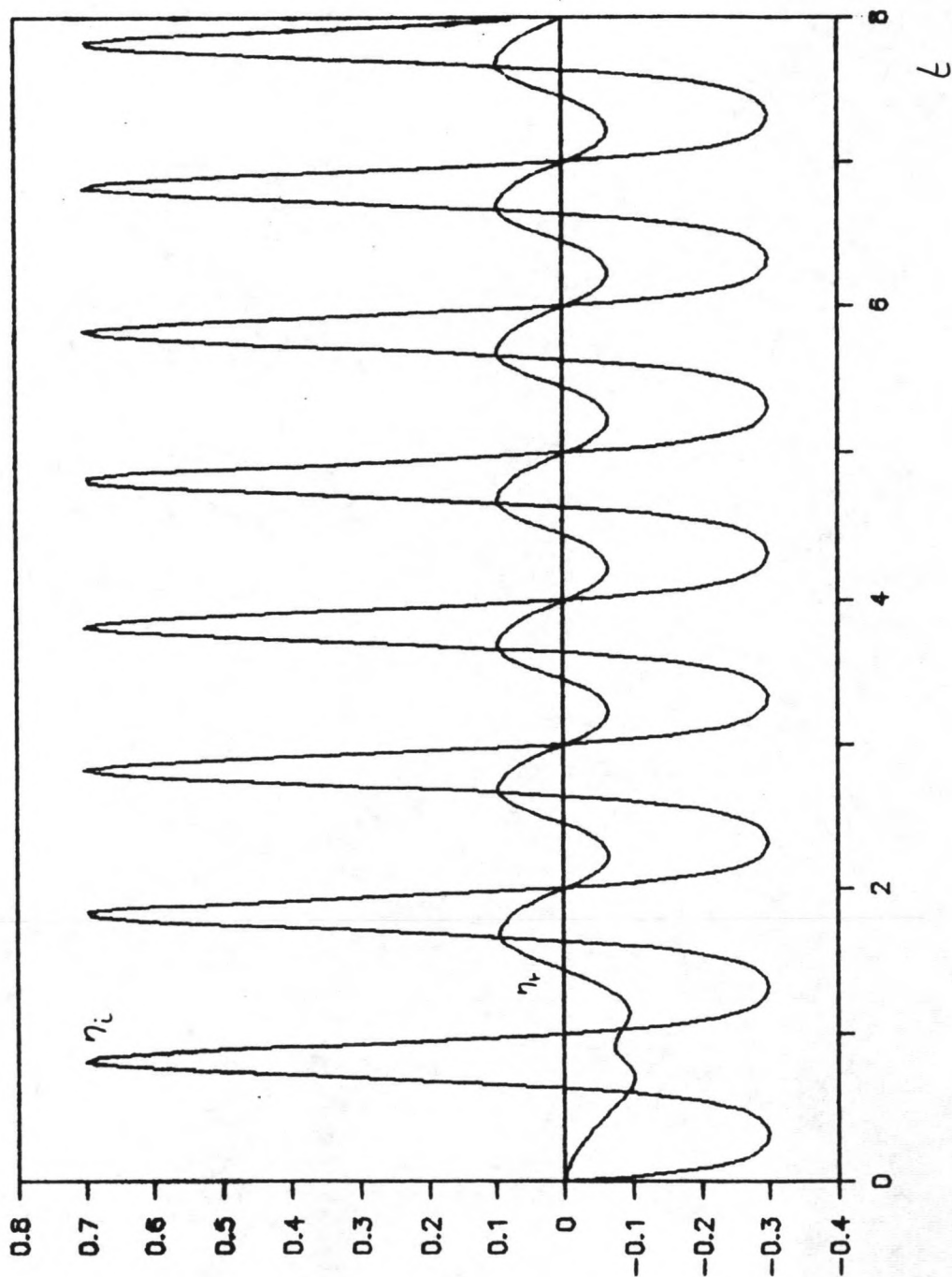


Fig. 7e

Computed Free Surface Elevations
and Depth-Averaged Velocities at
 $t = 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0$
for Data from Ahrens' Test No. 47



7

fig. 8/a De inkomende en gereflecteerde
golfhoogte tegen de tijd op de
zeewaartse rand behorende bij
Ahrens' test no. 47

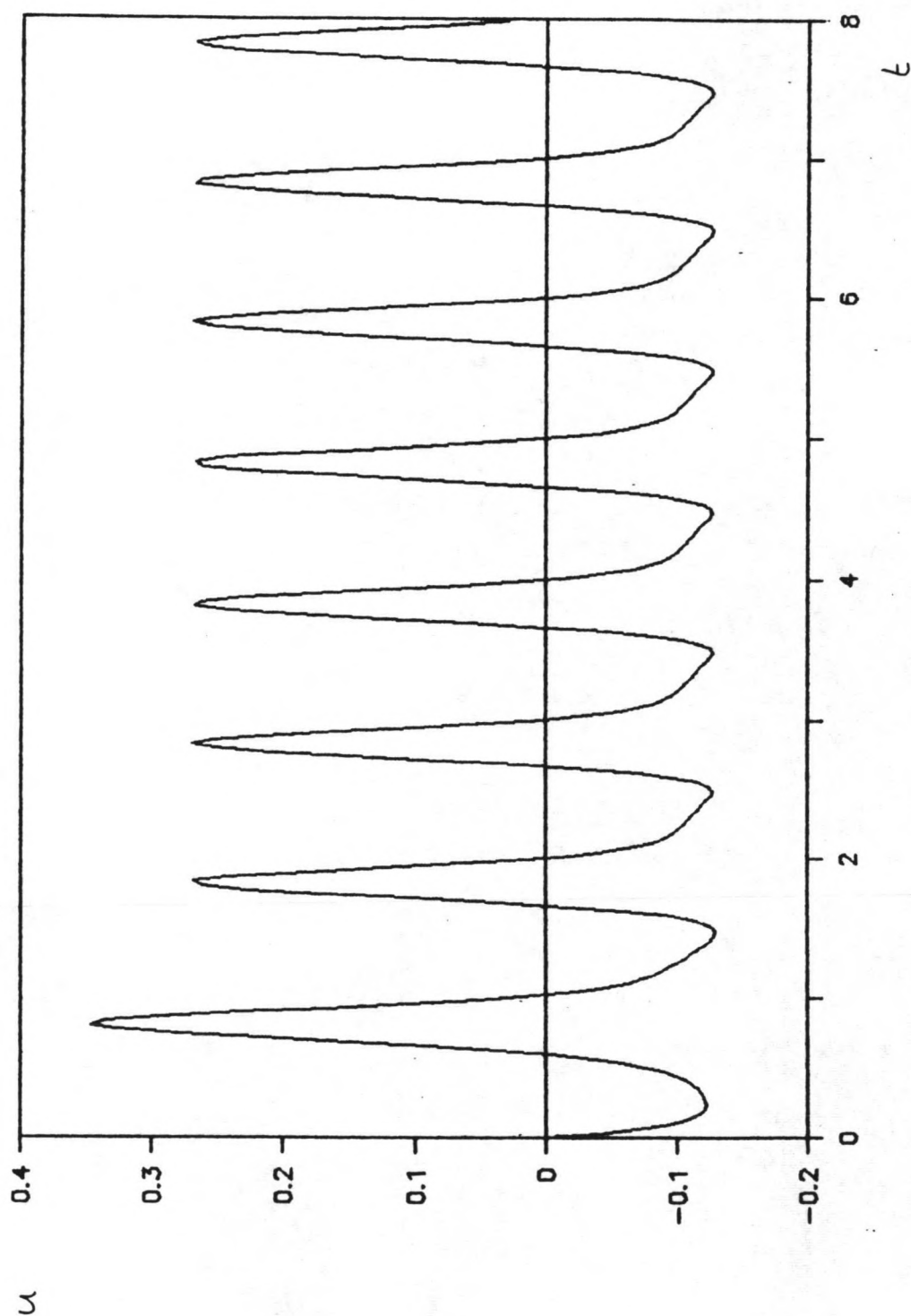


fig. 7b De snelheid tegen de tijd op de
 8 zeewaartse rand behorende bij
 Ahrens' test no. 47

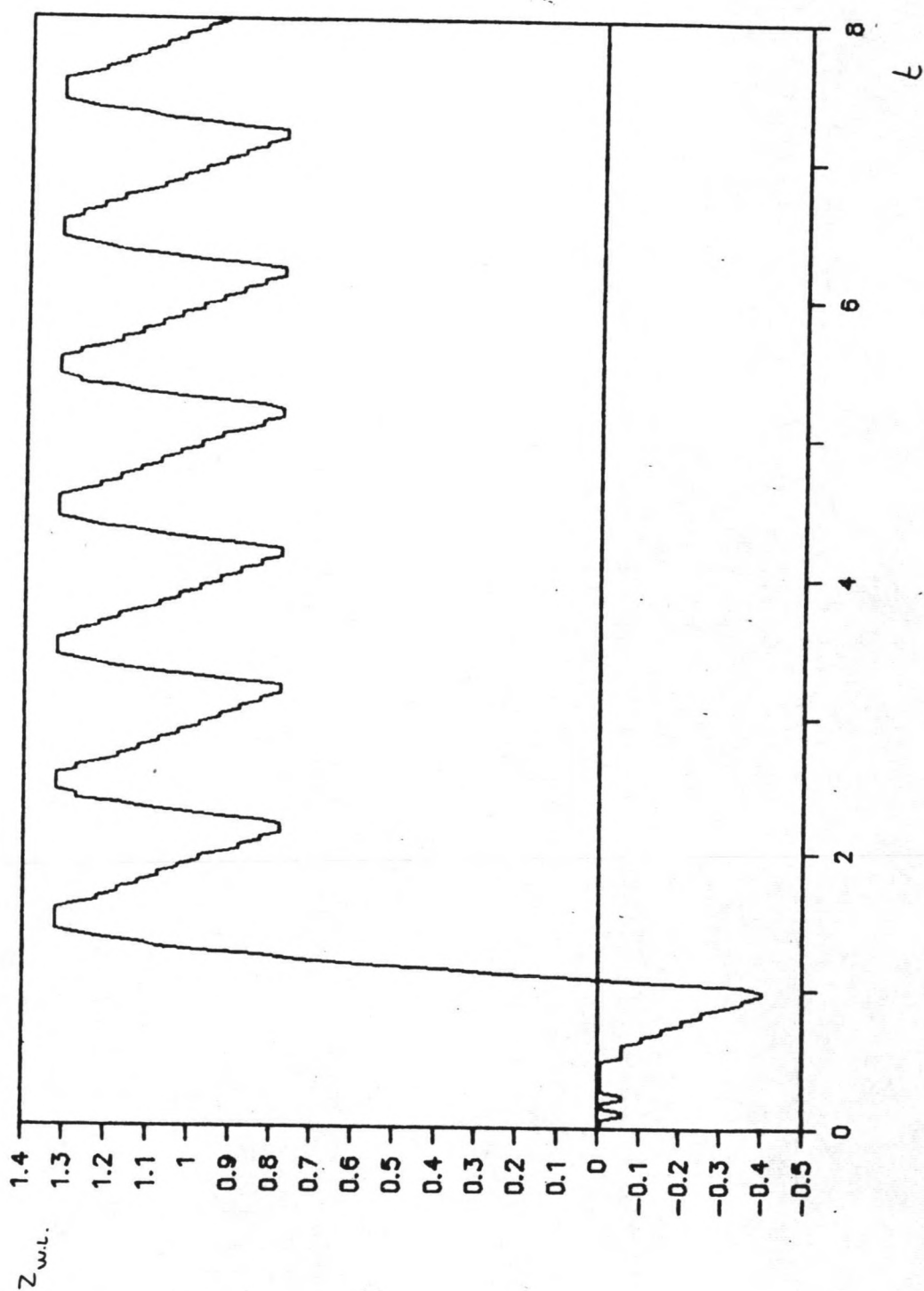


fig. 7c De beweging van de waterlijn
8 tegen de tijd behorende bij
Ahrens' test no. 47

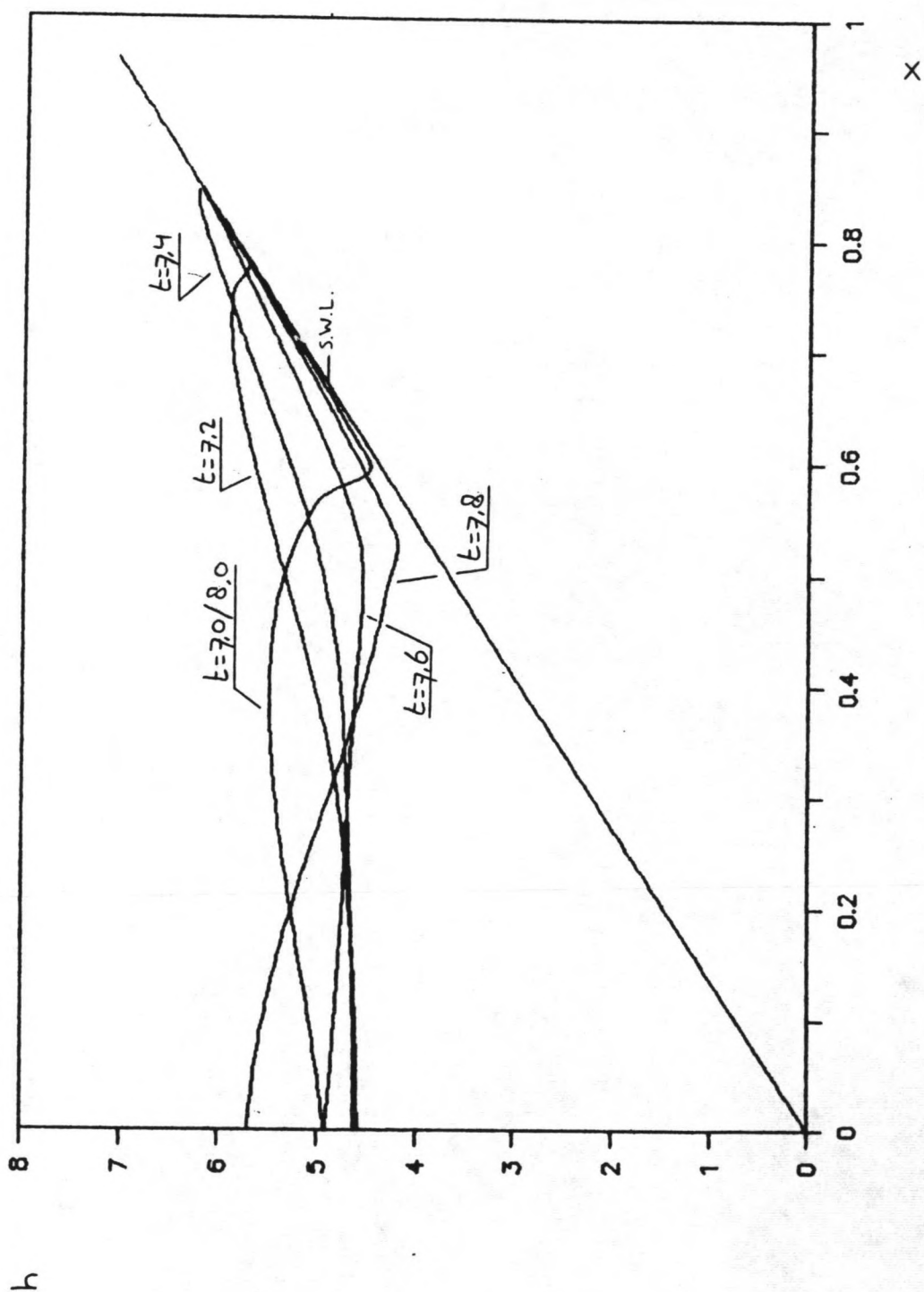


fig. 7d De waterdiepte tegen de plaats
 8 op het talud behorende bij
 Ahrens' test no. 47

$\Sigma = 2.93$

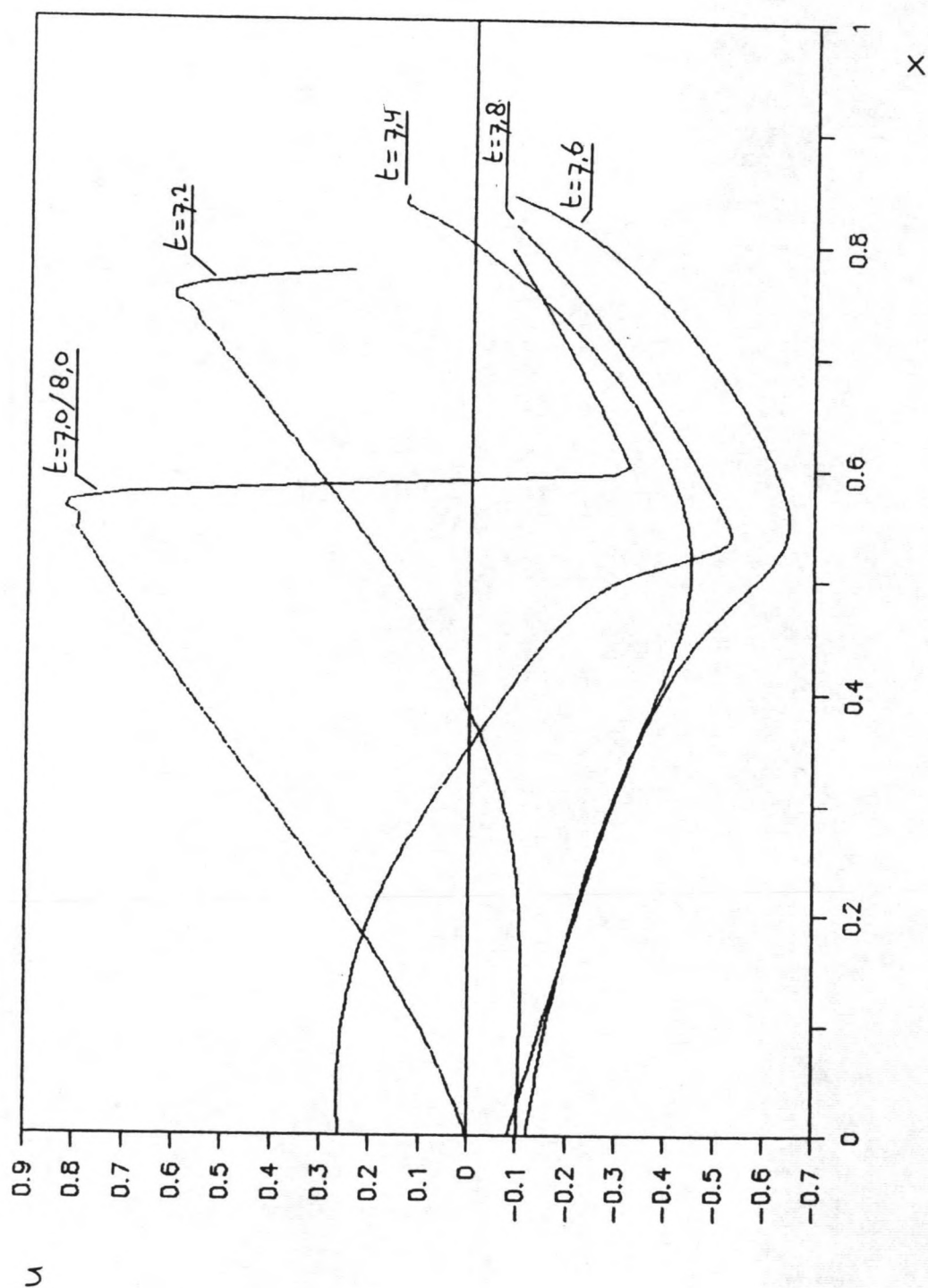


fig. 7e De snelheid tegen de plaats op
het talud behorende bij Ahrens' test no. 47

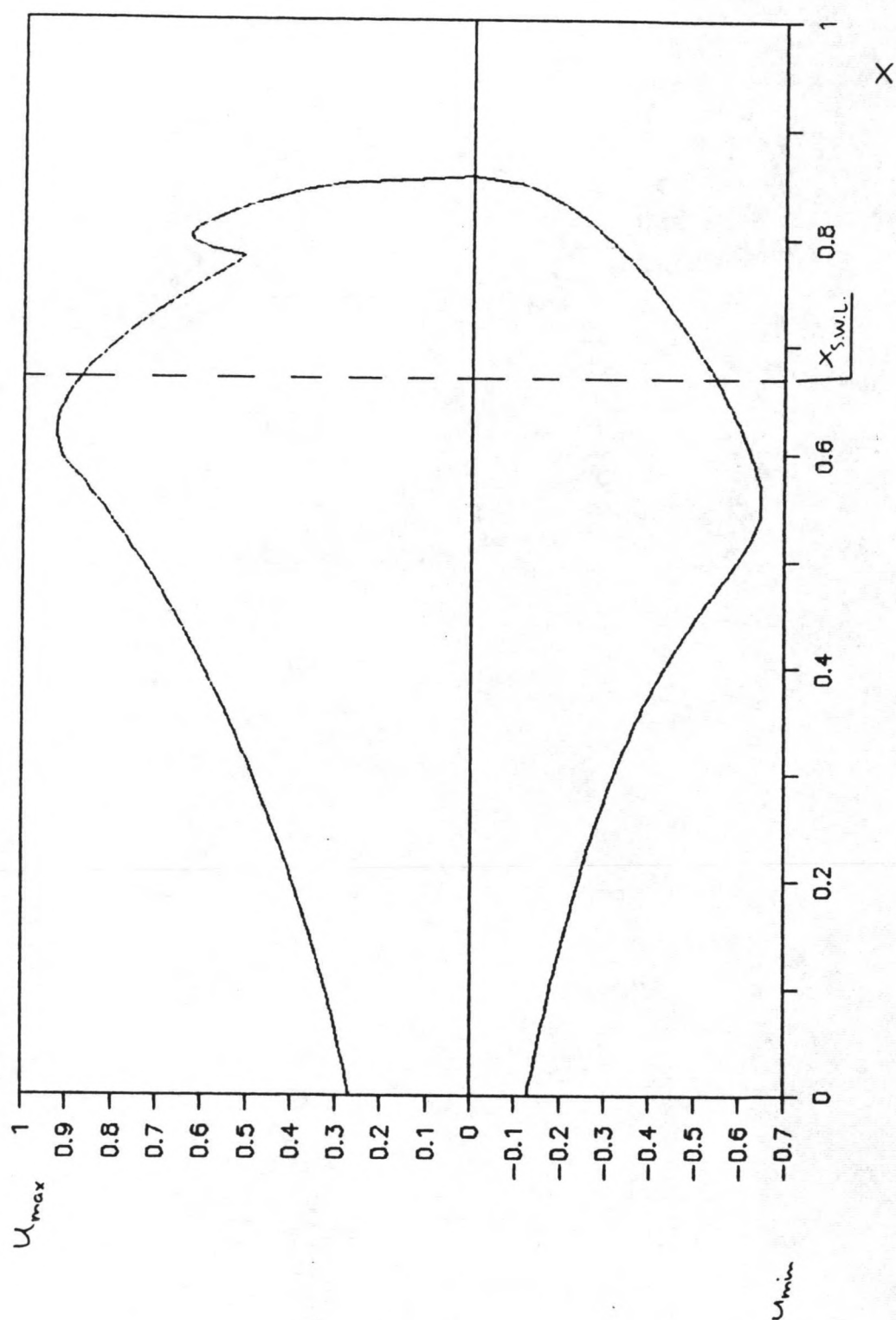


fig. 7f De maximale en minimale snelheid
8 in de tijd tegen de plaats op het
talud behorende bij Ahrens' test
no. 47

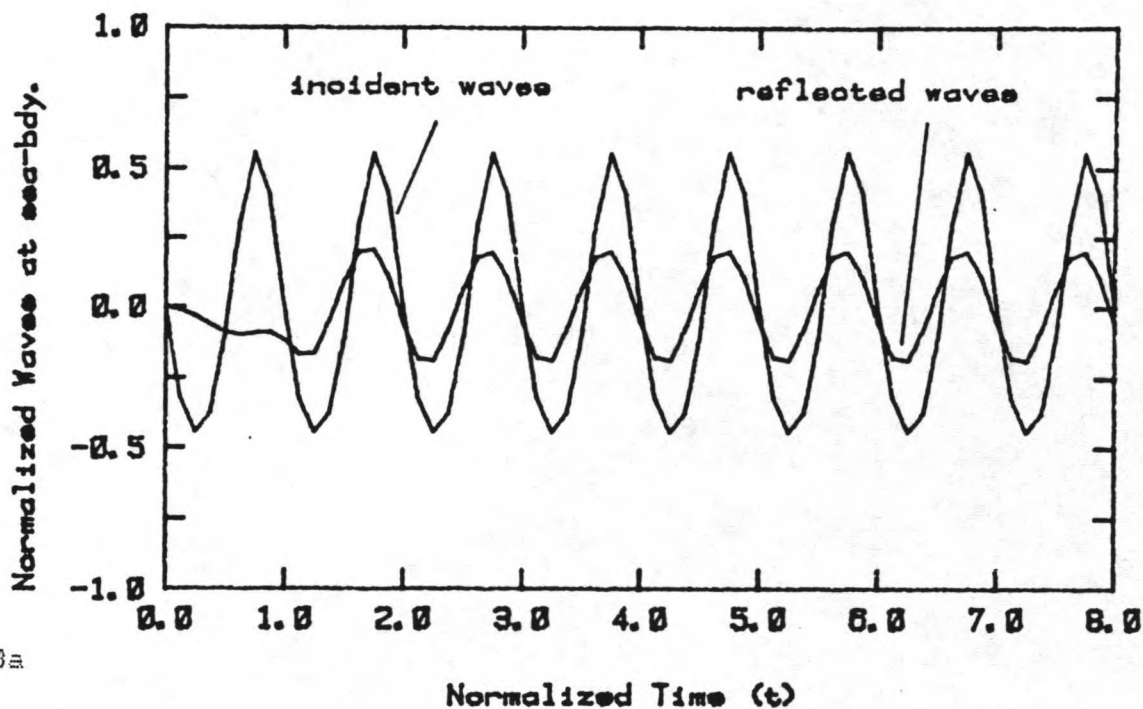


Fig. 9a

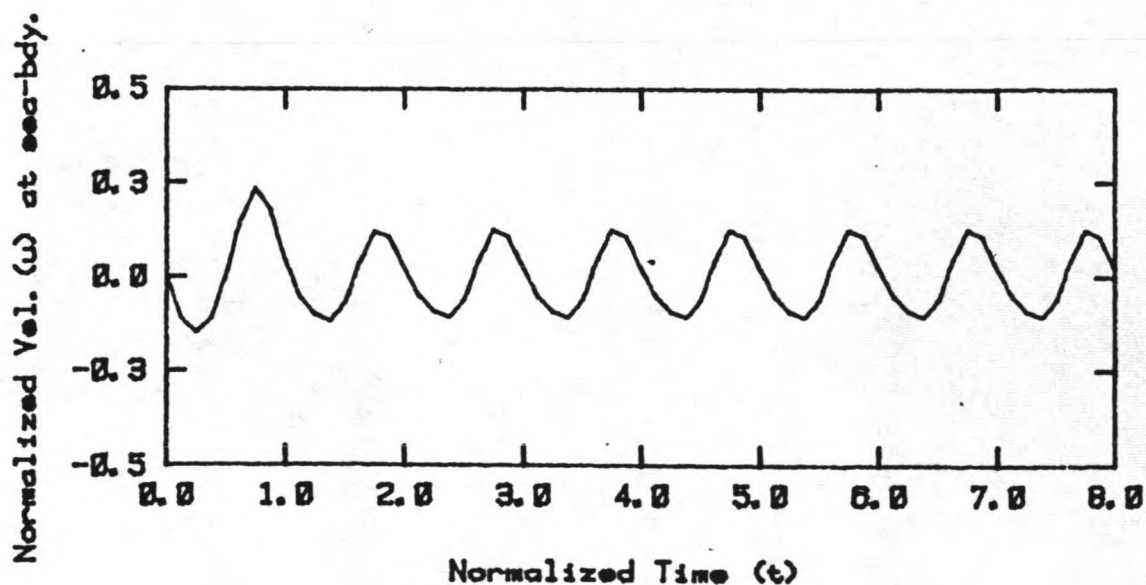
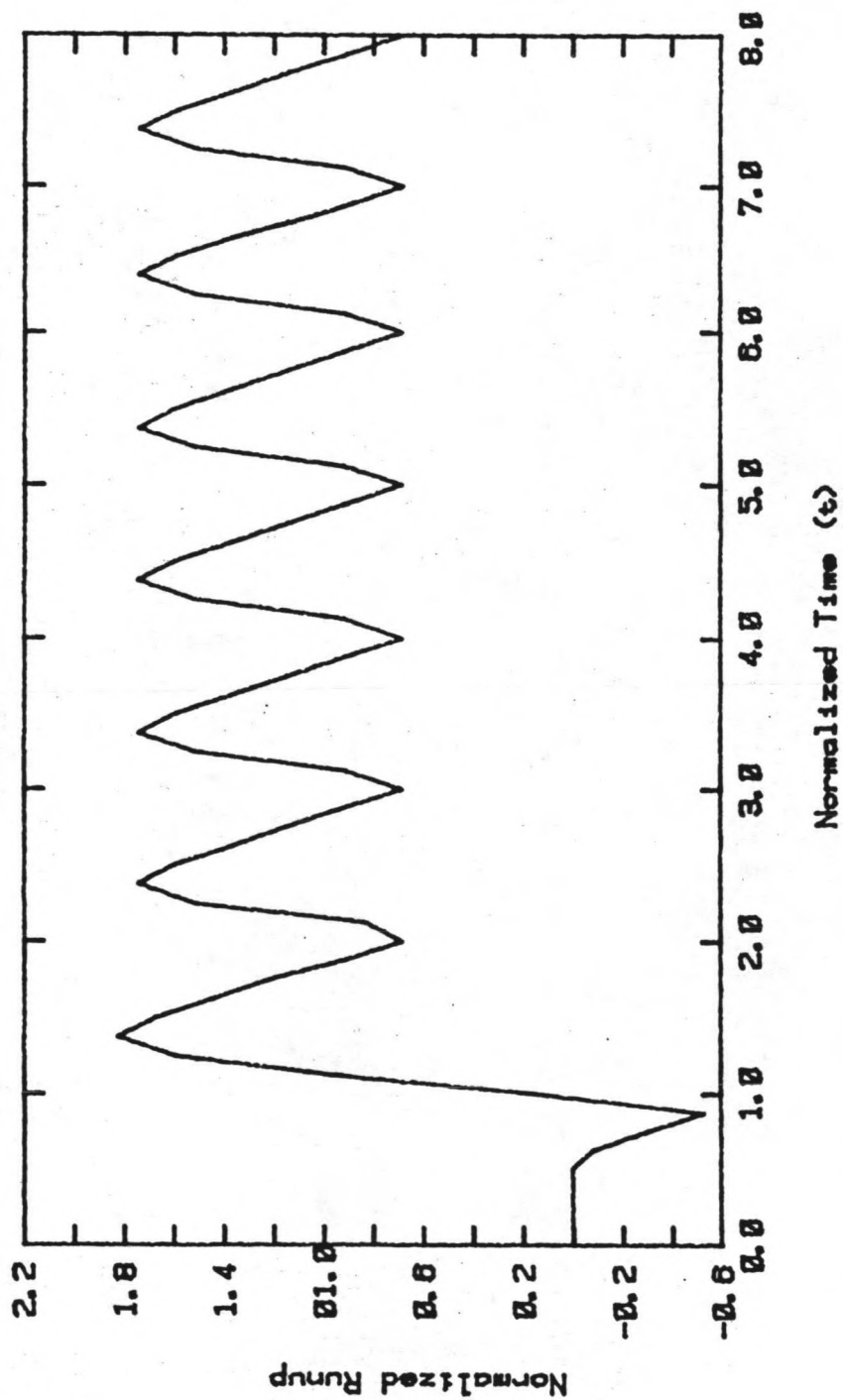


Fig. 9b

Computed Incident and Reflected
Waves and Depth-Averaged Velocity
at the Seaward Boundary for Data
from Ahrens' Test No. 7



Computed Shoreline Motion
for Data from Ahrens'
Test No. 7

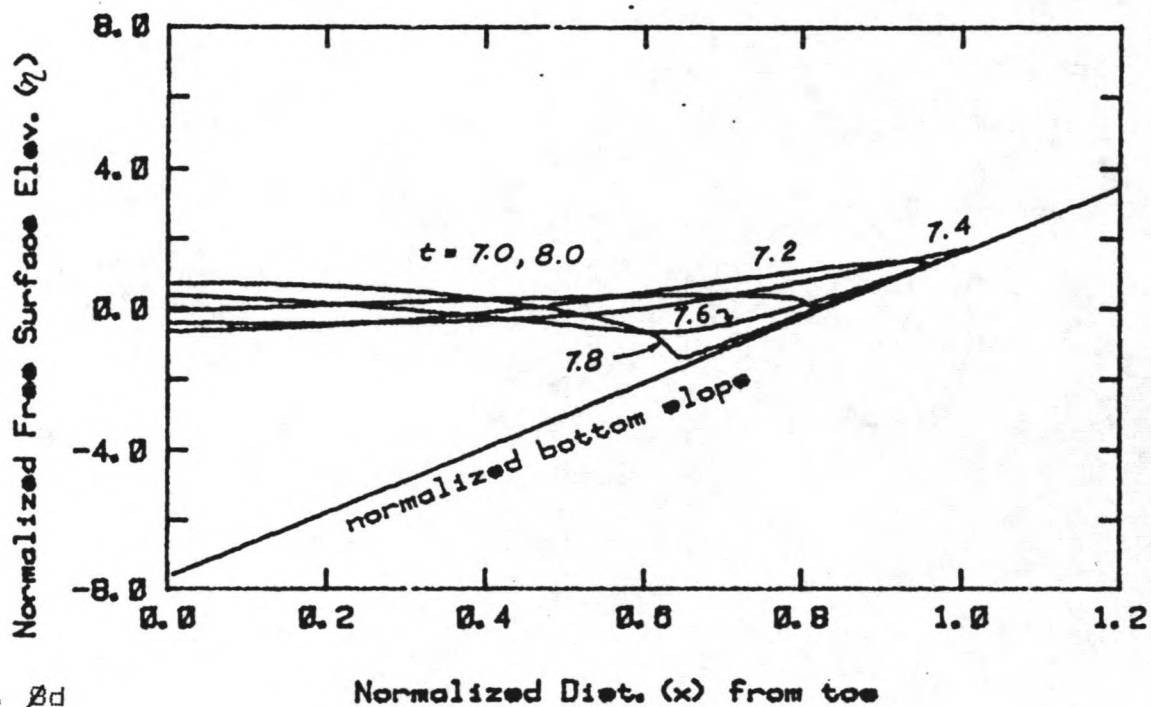


Fig. 8d

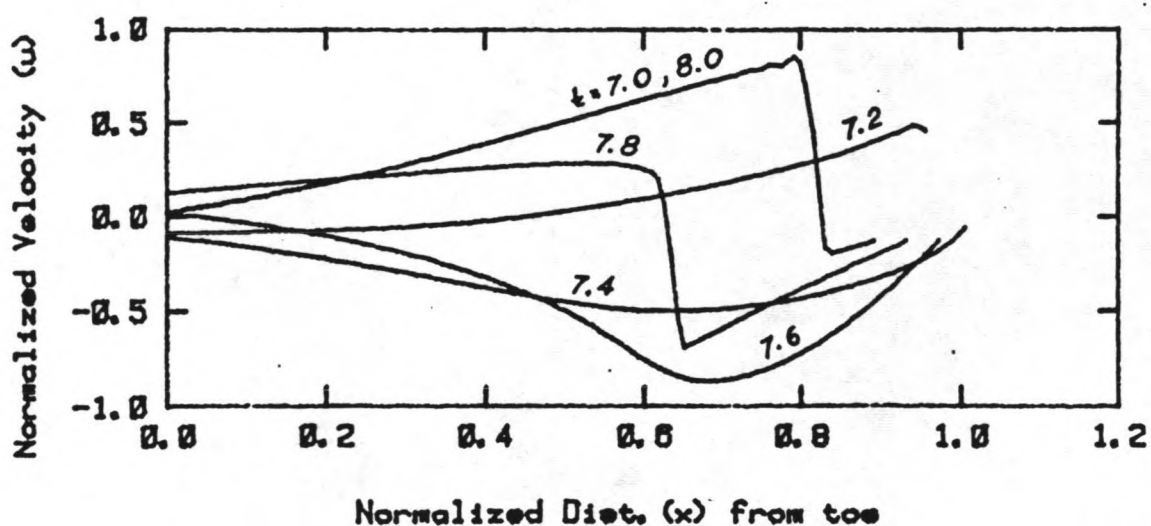


Fig. 8e

Computed Free Surface Elevations
and Depth-Averaged Velocities at
 $t = 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0$
for Data from Ahrens' Test No. 7

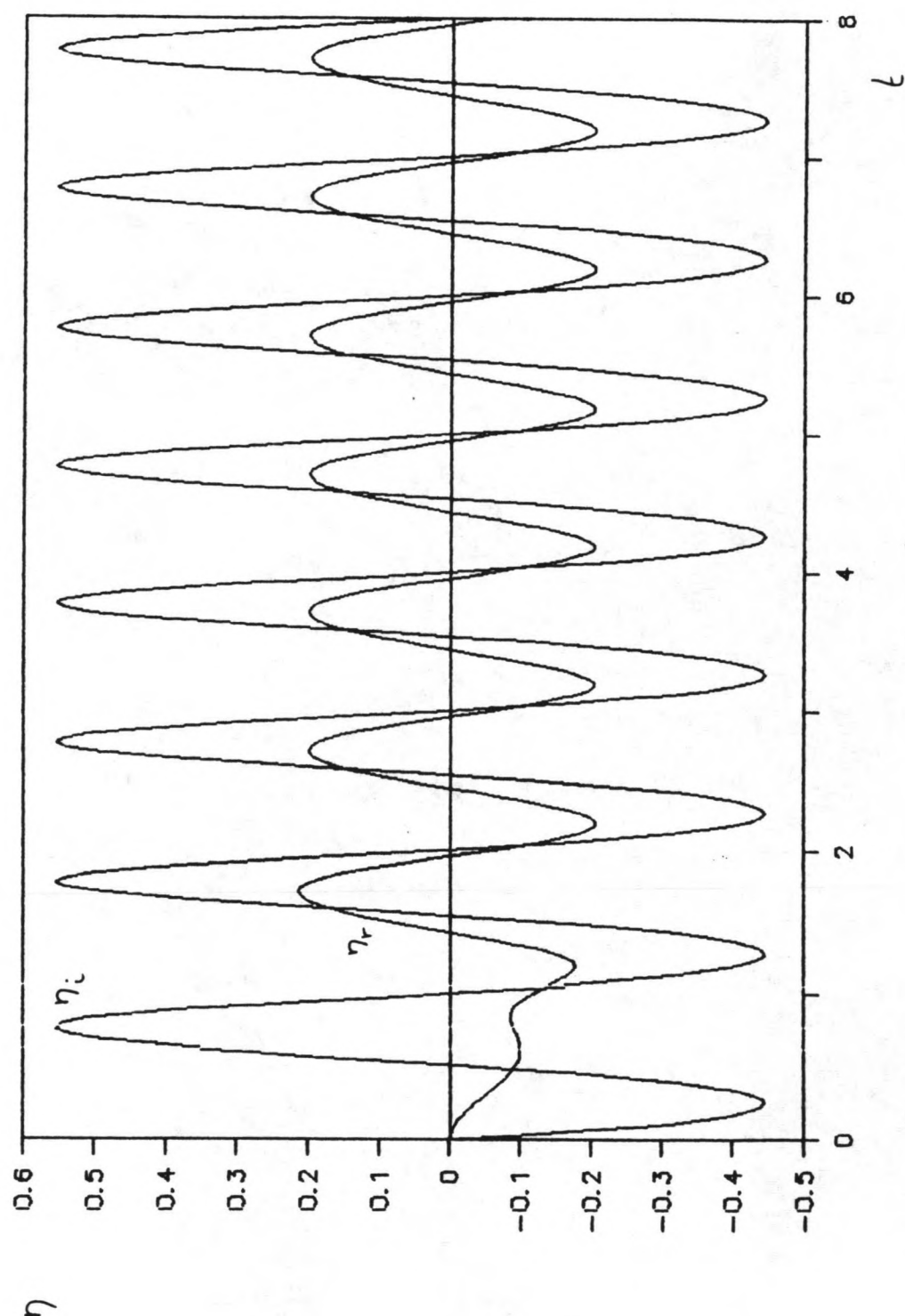


fig. 10a De inkomende en gereflecteerde
golffhoogte tegen de tijd op de
zeewaartse rand behorende bij
Ahrens' test no. 7

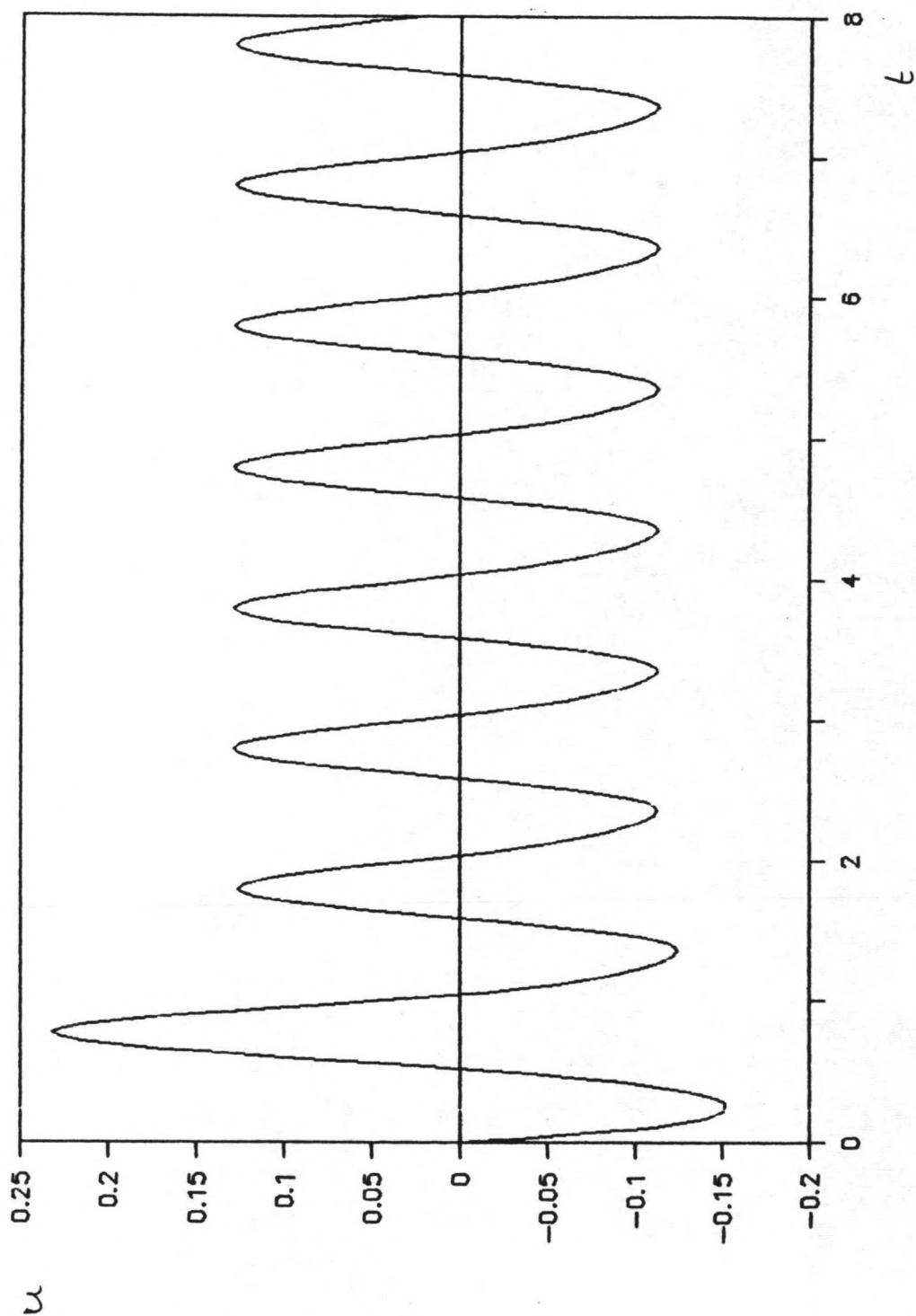


fig. 10 De snelheid tegen de tijd op de
zeewaartse rand behorende bij
Ahrens' test no. 7

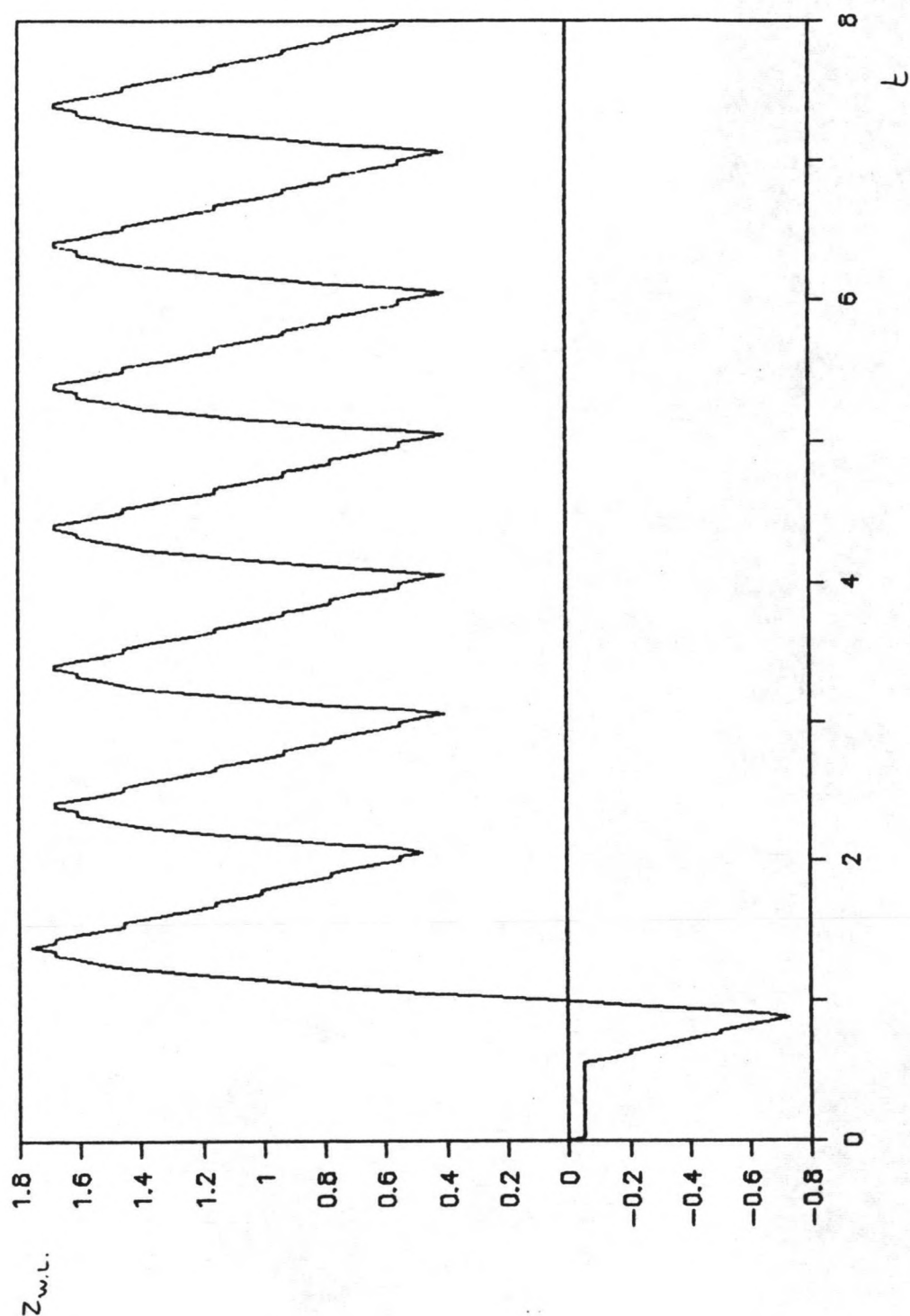


fig. 9c De beweging van de waterlijn
 (0) tegen de tijd behorende bij
 Ahrens' test no. 7

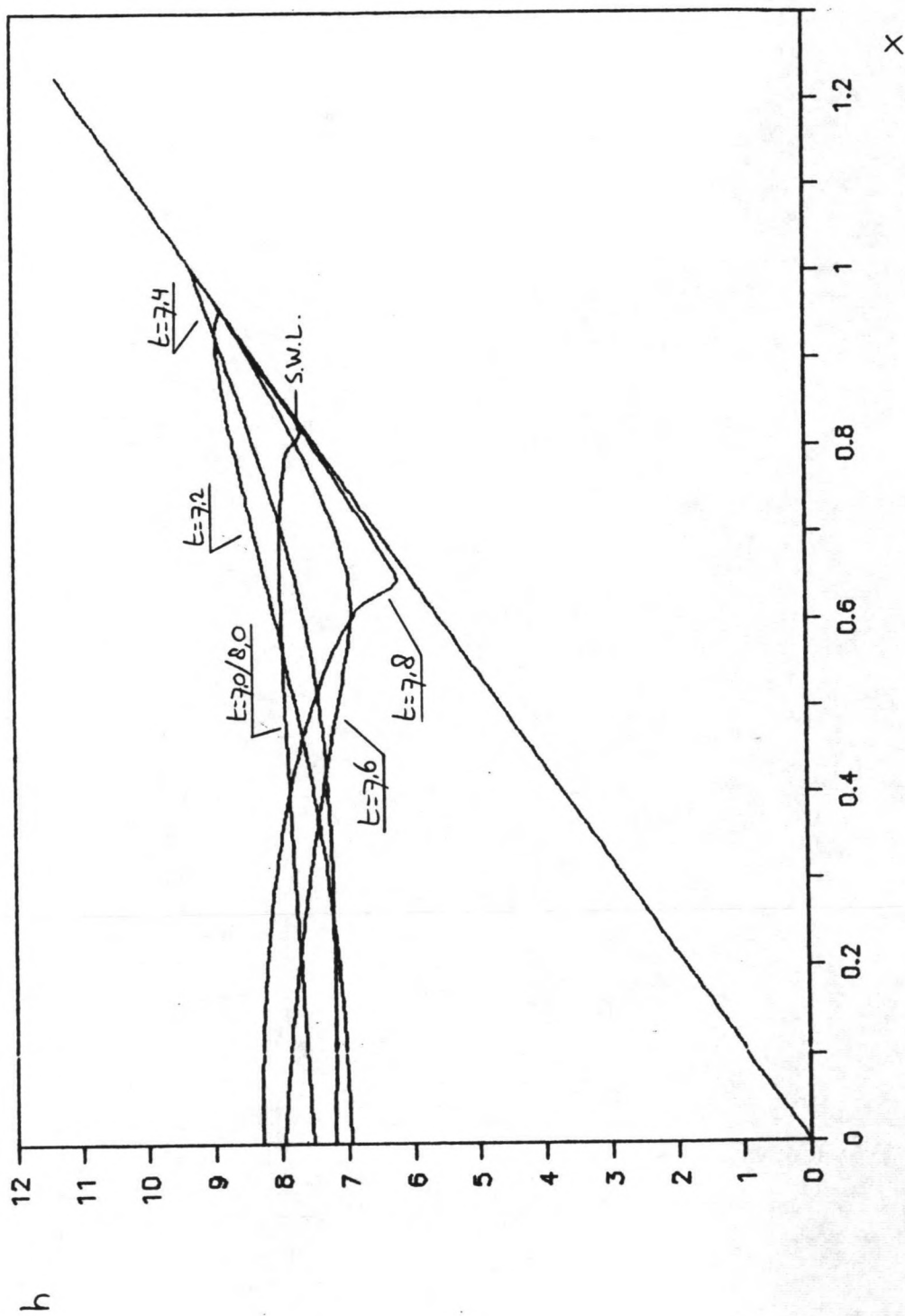


fig. 10 d De waterdiepte tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 7

Σ 3.67

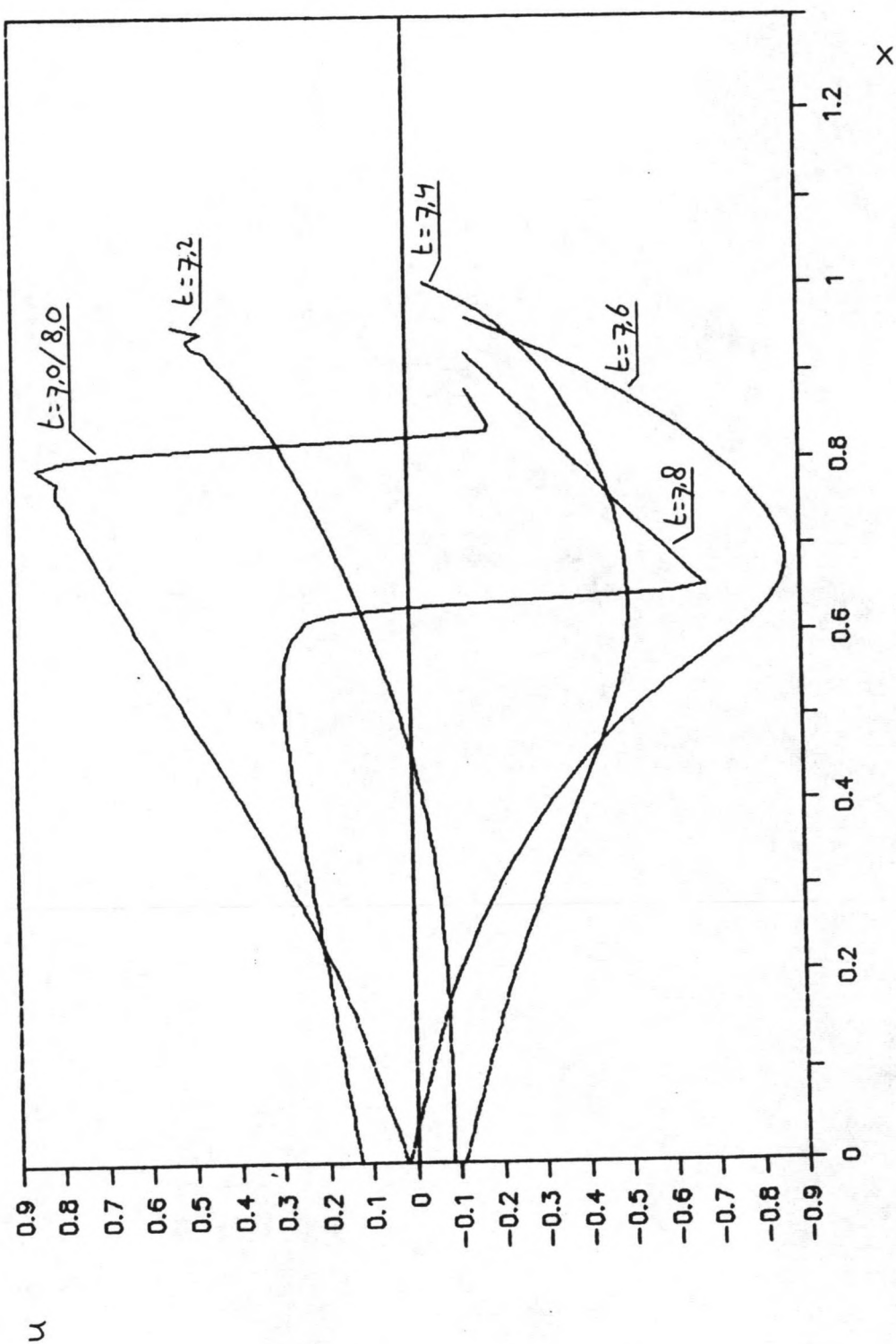


fig. 10 De snelheid tegen de plaats op
het talud behorende bij Ahrens,
test no. 7

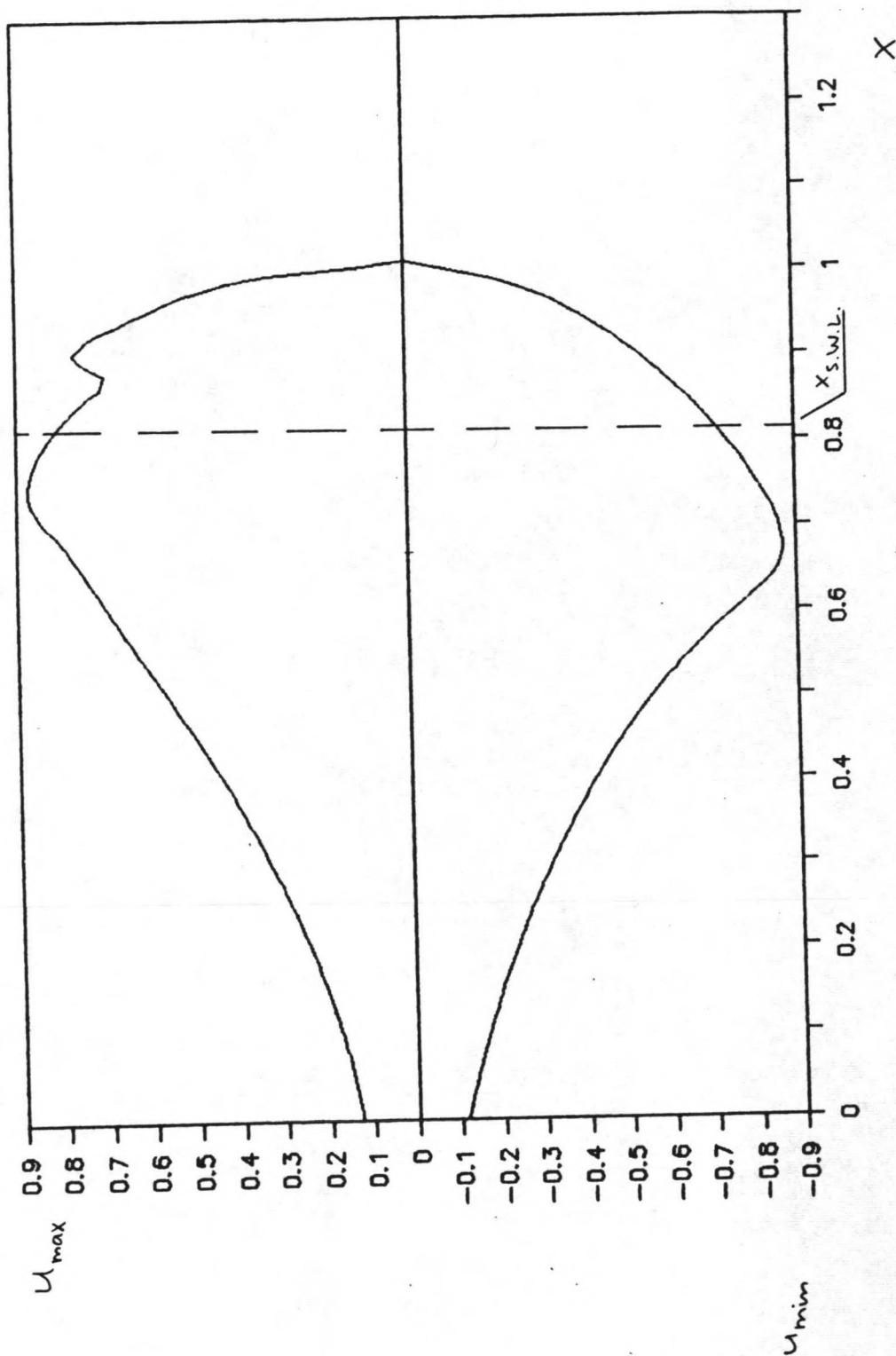


fig. 10 De maximale en minimale snelheid in de tijd tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 7

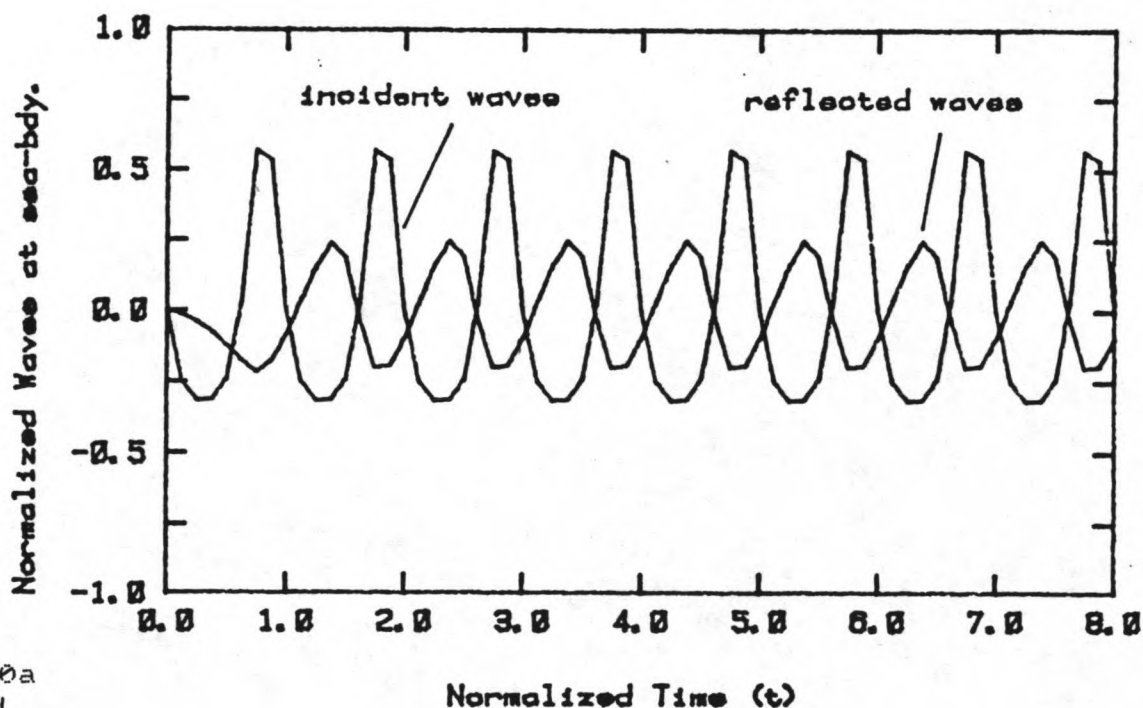


Fig. 10a
11

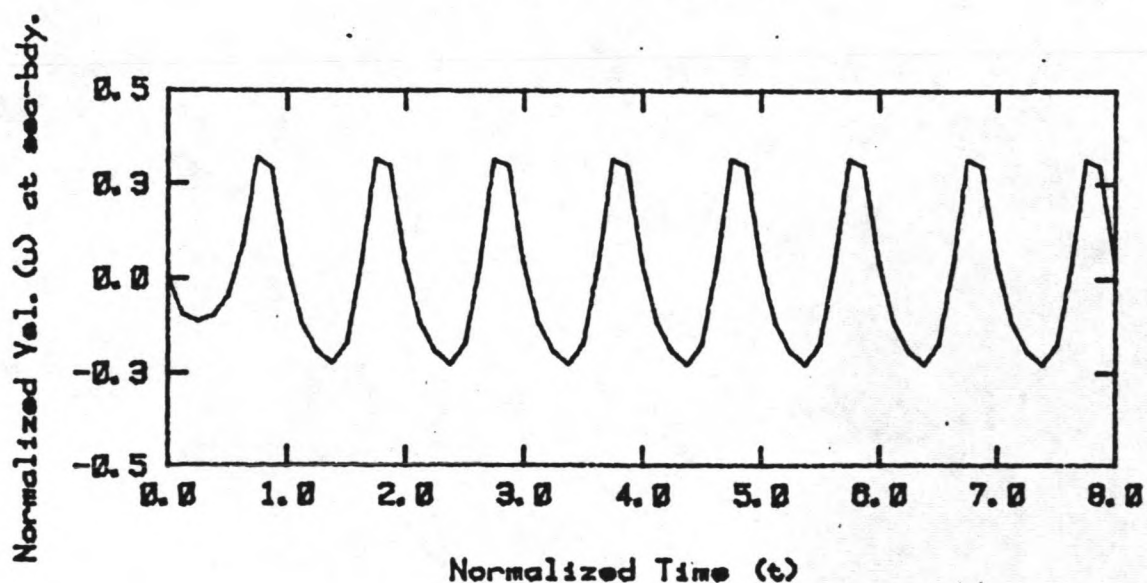
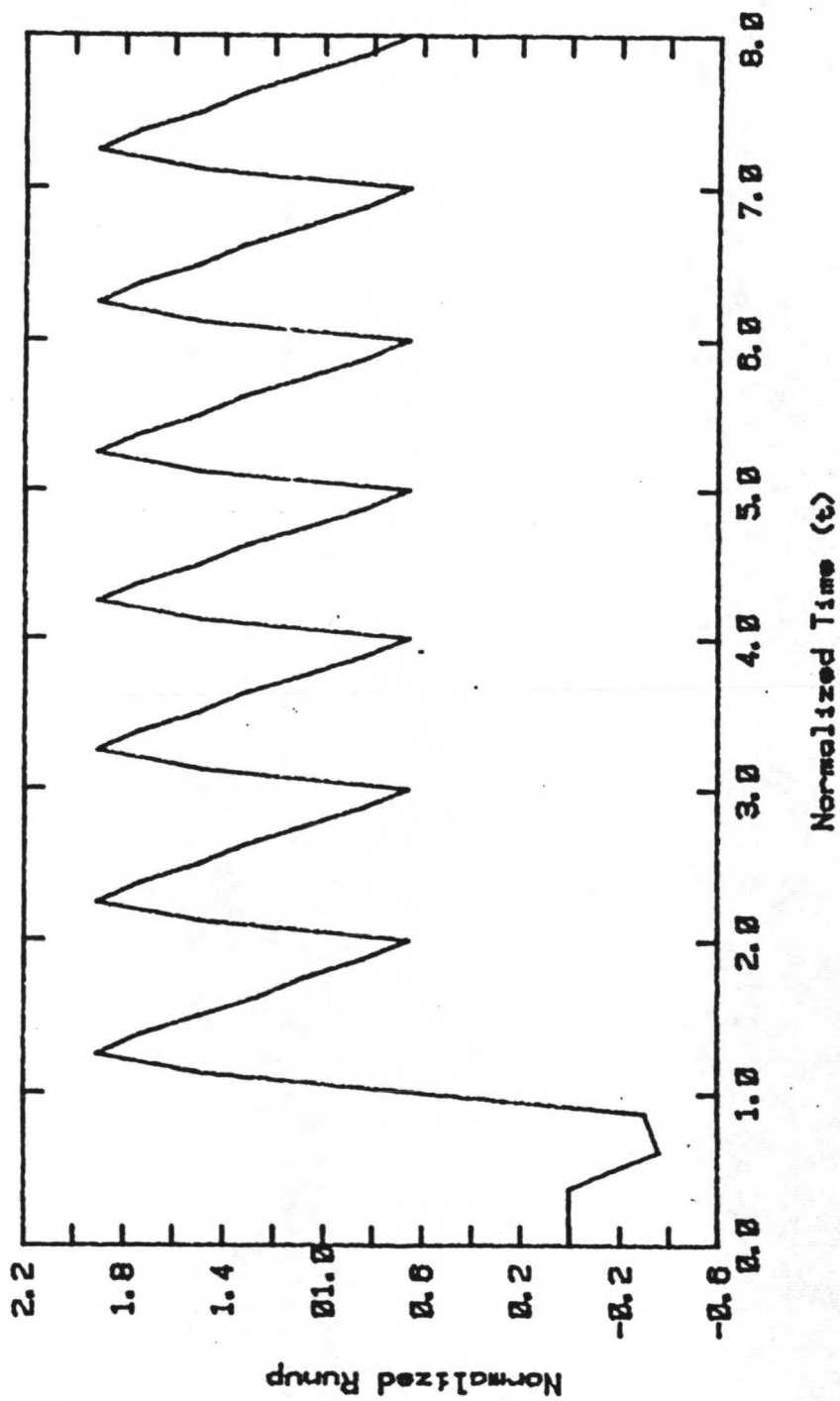


Fig. 10b
11

Computed Incident and Reflected
Waves and Depth-Averaged Velocity
at the Seaward Boundary for Data
from Ahrens' Test No. 31

Fig. 10c



Computed Shoreline Motion
for Data from Ahrens'
Test No. 31

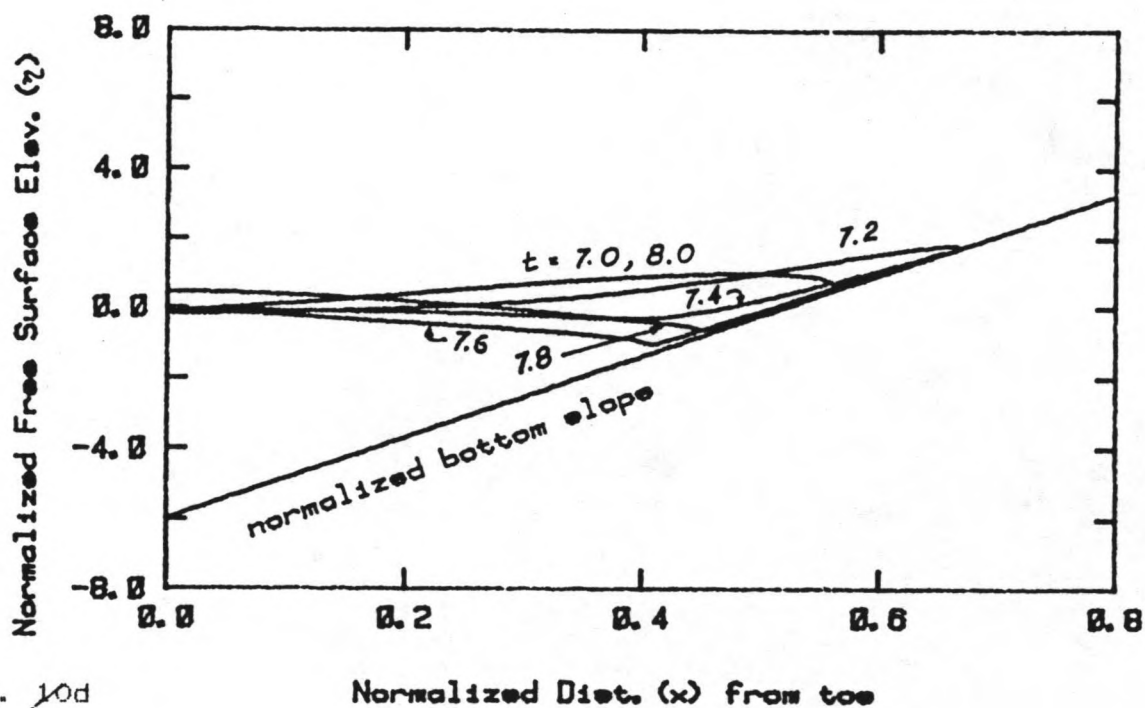


Fig. 10d
(1)

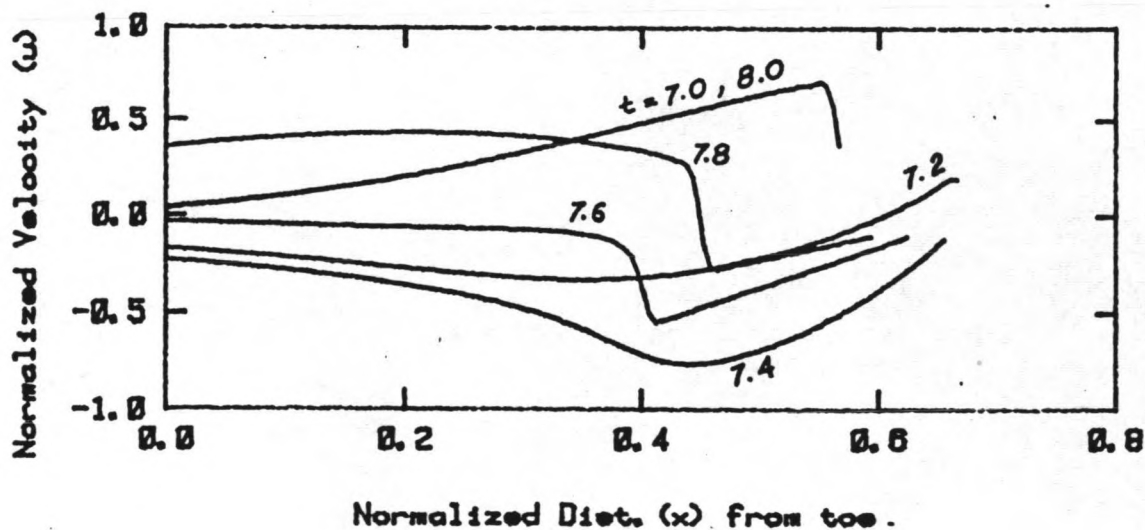


Fig. 10e
(1)

Computed Free Surface Elevations
and Depth-Averaged Velocities at
t = 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0
for Data from Ahrens' Test No. 31

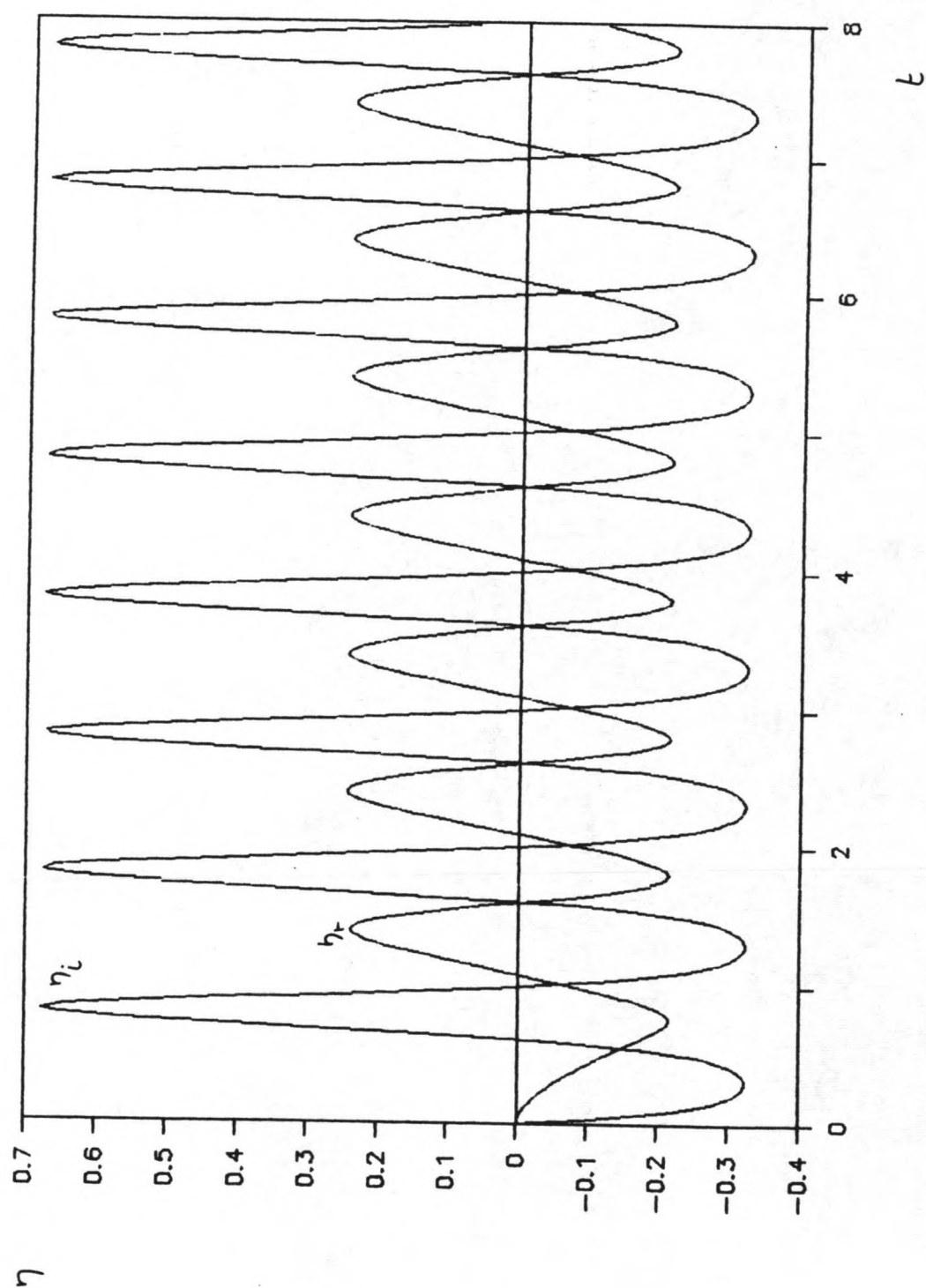


fig. 11a De inkomende en gereflecteerde
 (2) golfhoogte tegen de tijd op de
 zeewaartse rand behorende bij
 Ahrens' test no. 31

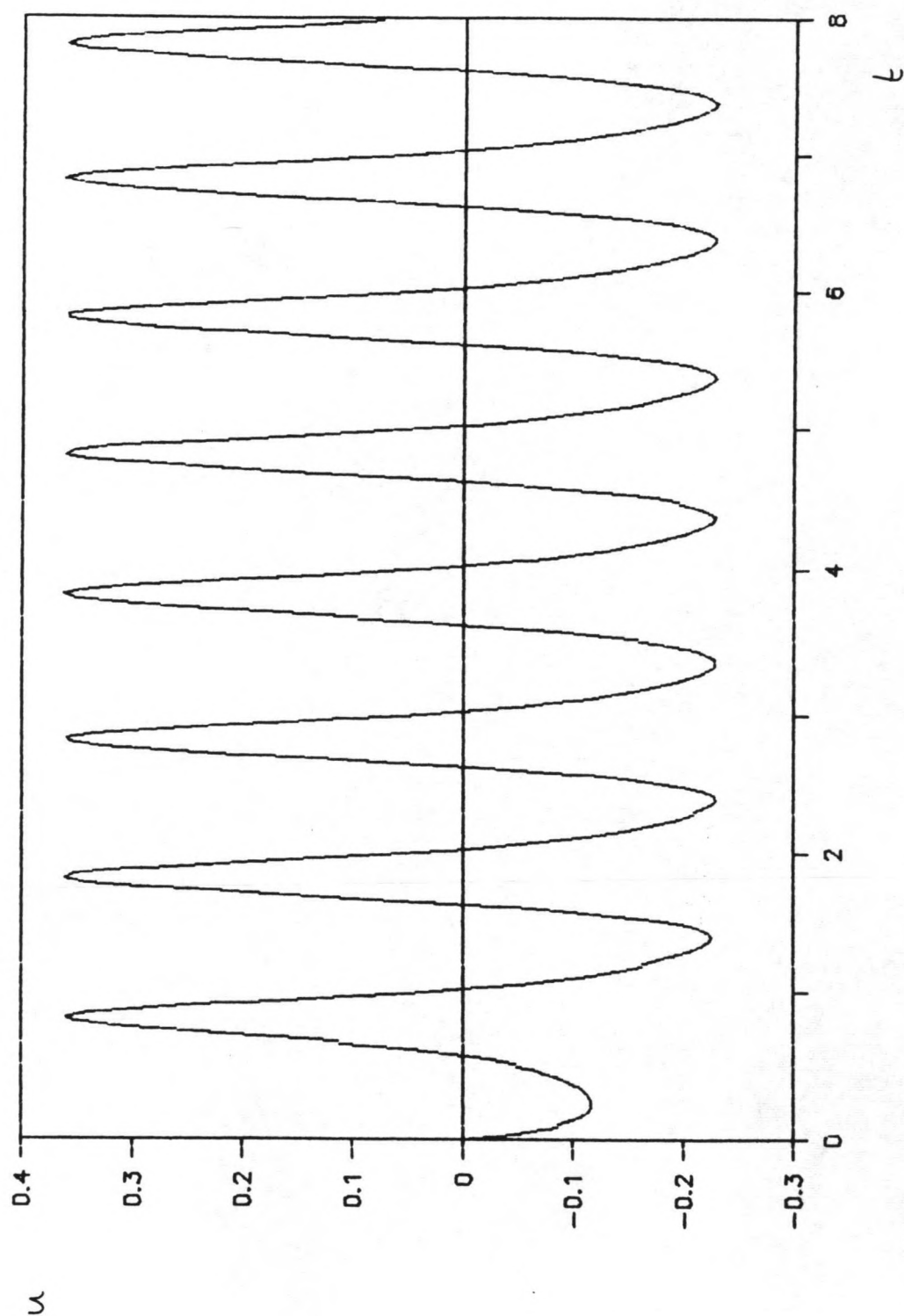


fig. 12b De snelheid tegen de tijd op de
zeewaartse rand behorende bij
Ahrens' test no. 31

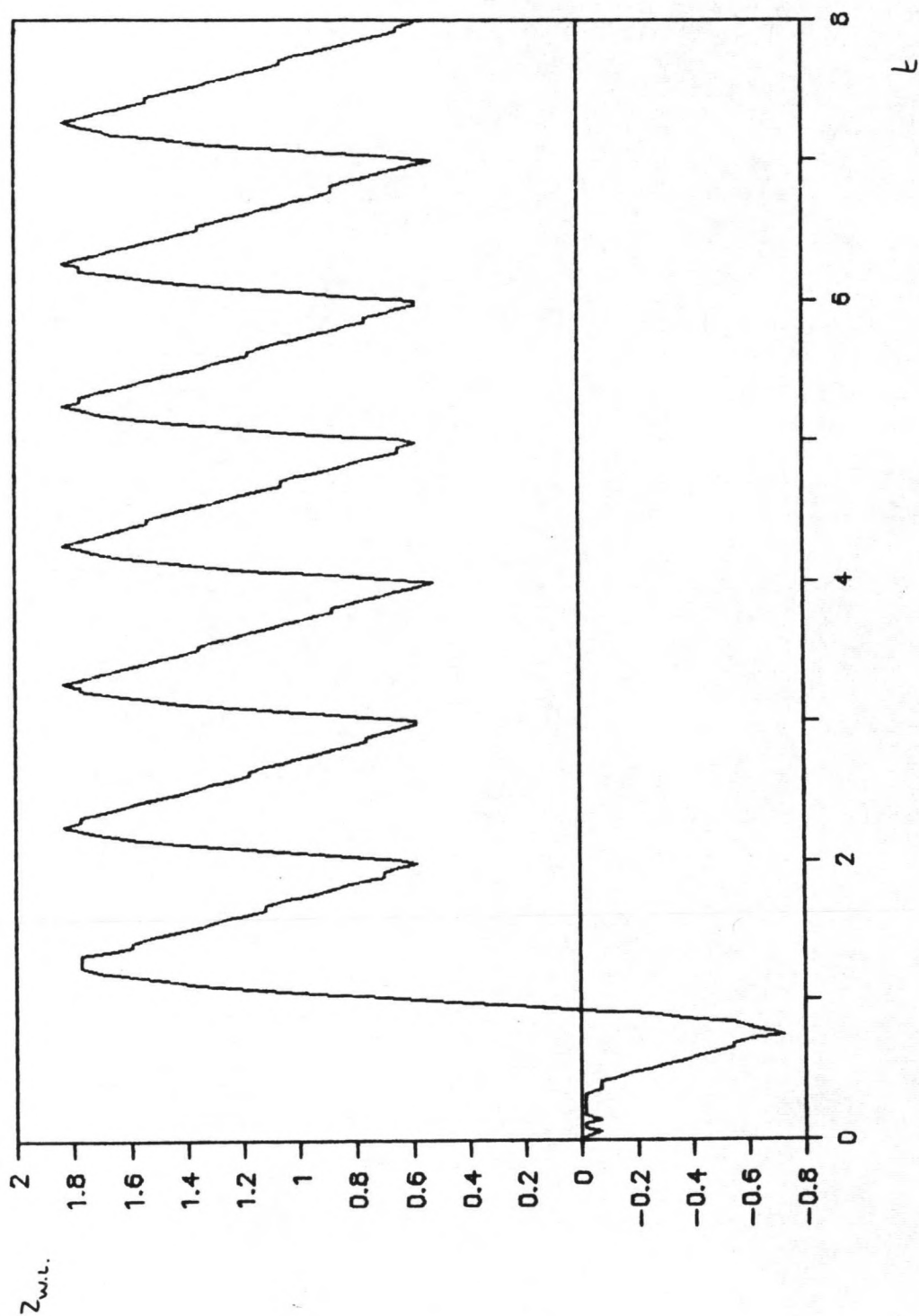


fig. 12c De beweging van de waterlijn
 (2) tegen de tijd behorende bij
 Ahrens' test no. 31

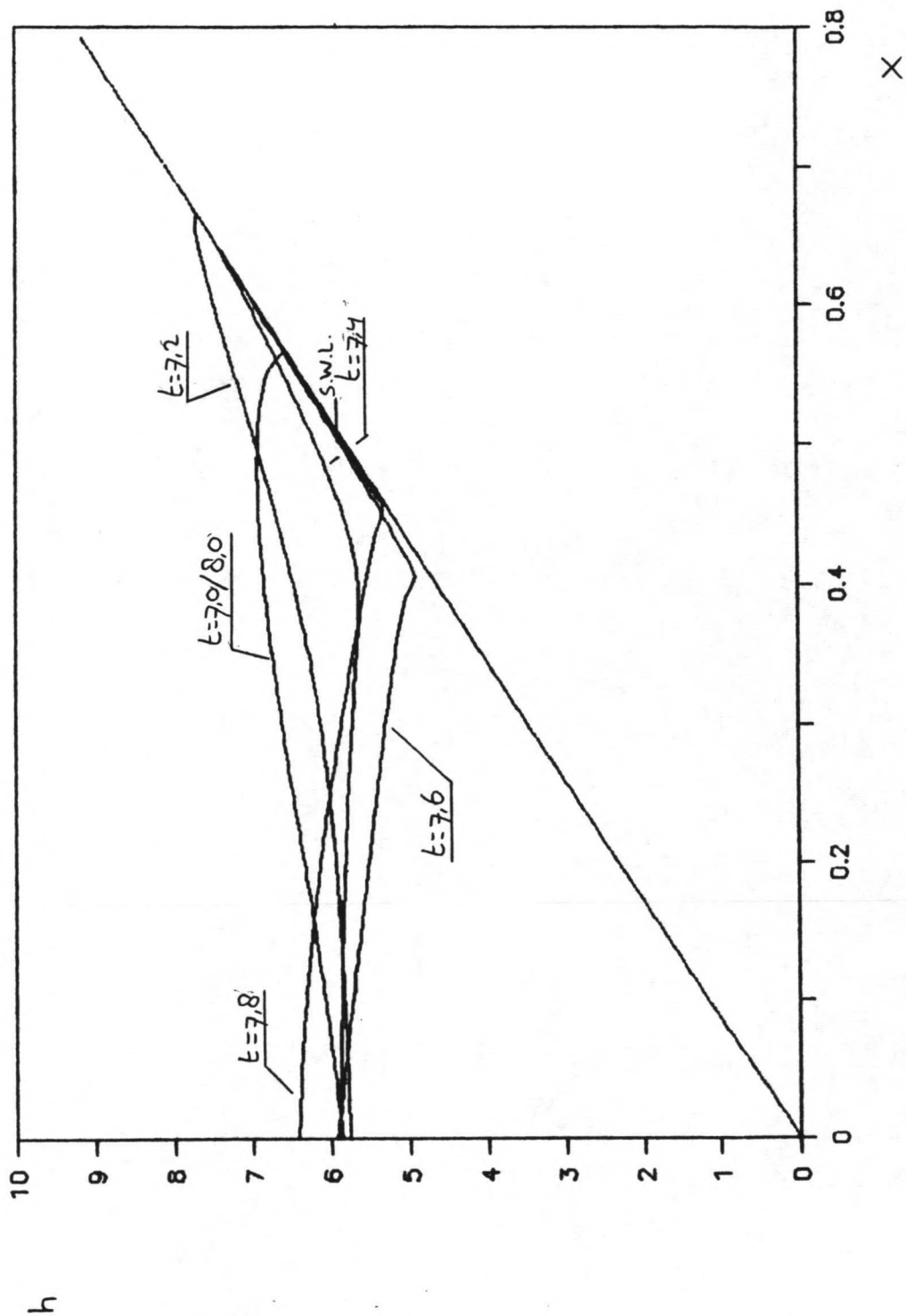


fig. 12 De waterdiepte tegen de plaats
op het talud behorende bij
Ahrens' test no. 31

Σ 4.61

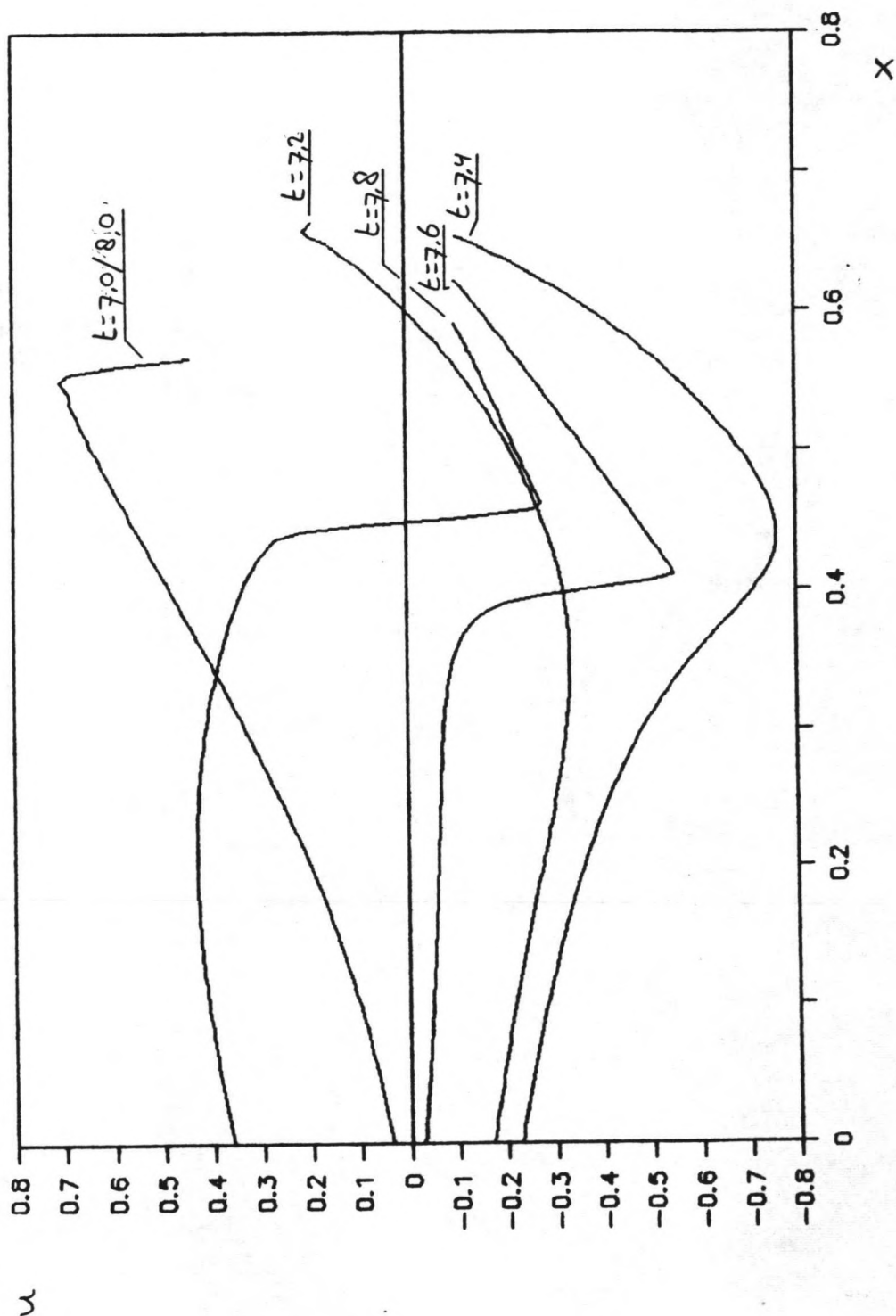


fig. 12 De snelheid tegen de plaats op
het talud behorende bij Ahrens'
test no. 31

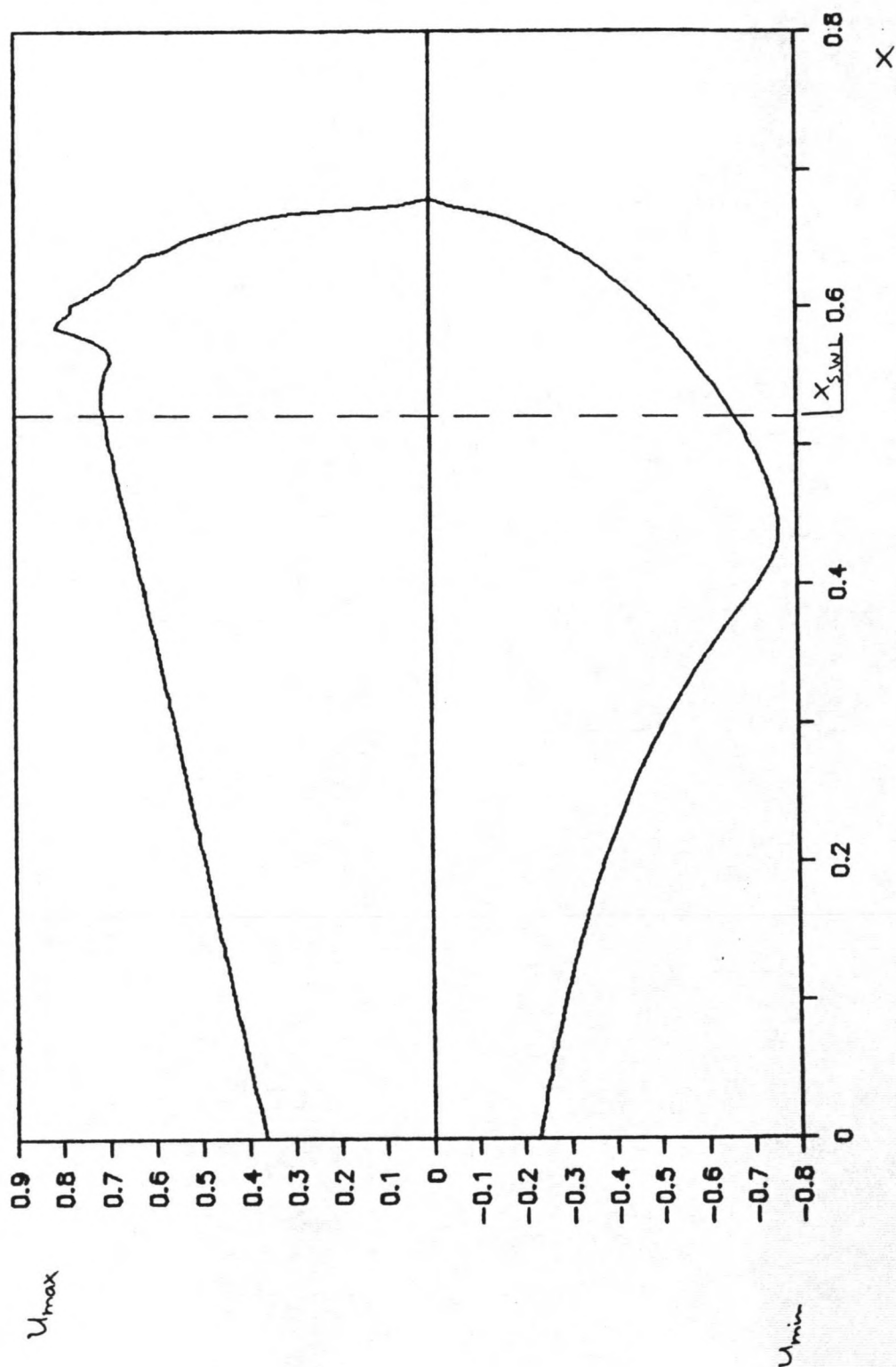


fig. 11f De maximale en minimale snelheid
 (2) in de tijd tegen de plaats op het
 talud behorende bij Ahrens' test
 no. 31

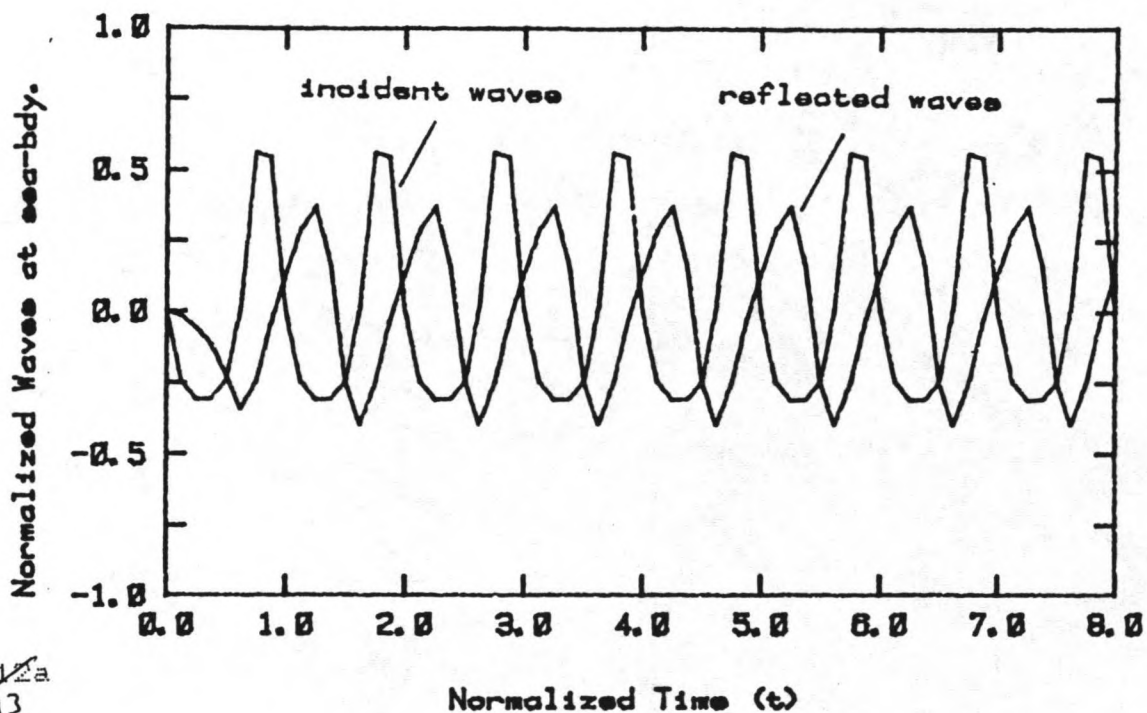


Fig. ~~12a~~
13

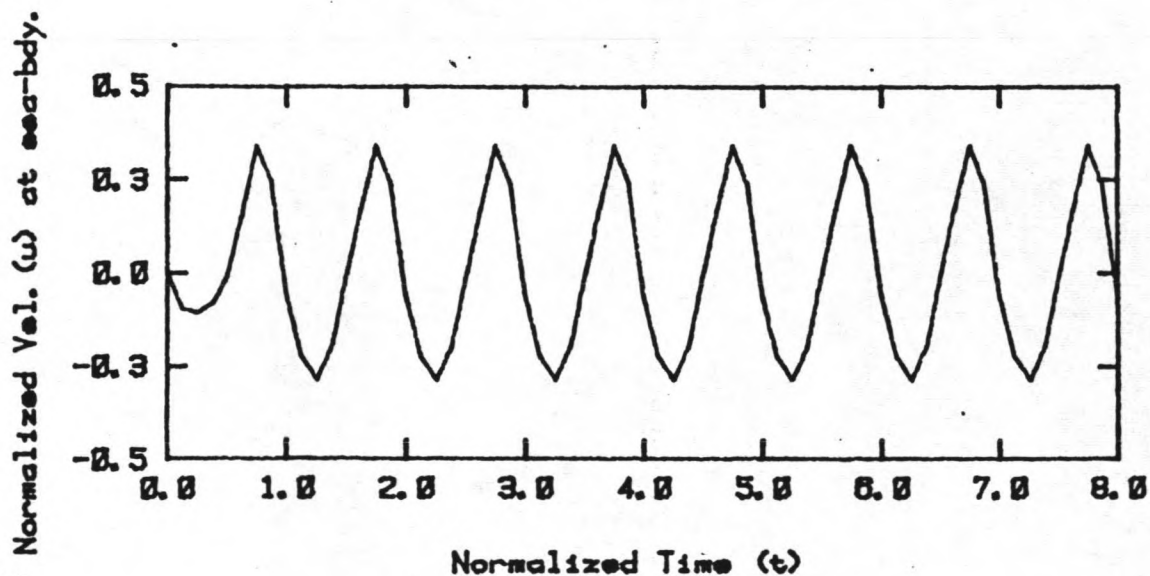
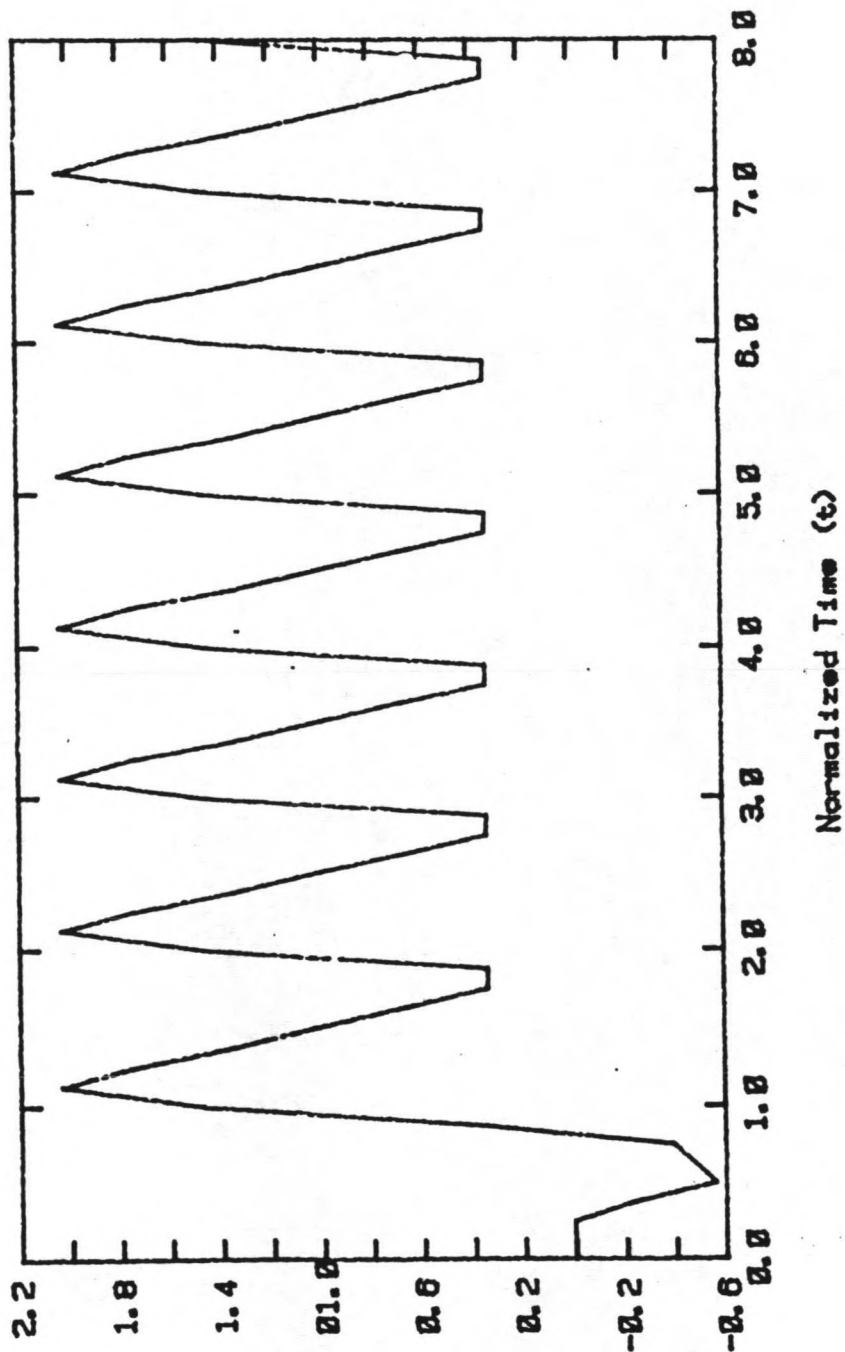


Fig. ~~12b~~
13

Computed Incident and Reflected
Waves and Depth-Averaged Velocity
at the Seaward Boundary for Data
from Ahrens' Test No. 5

Fig. 13
12c



Computed Shoreline Motion
for Data from Ahrens'
Test No. 5

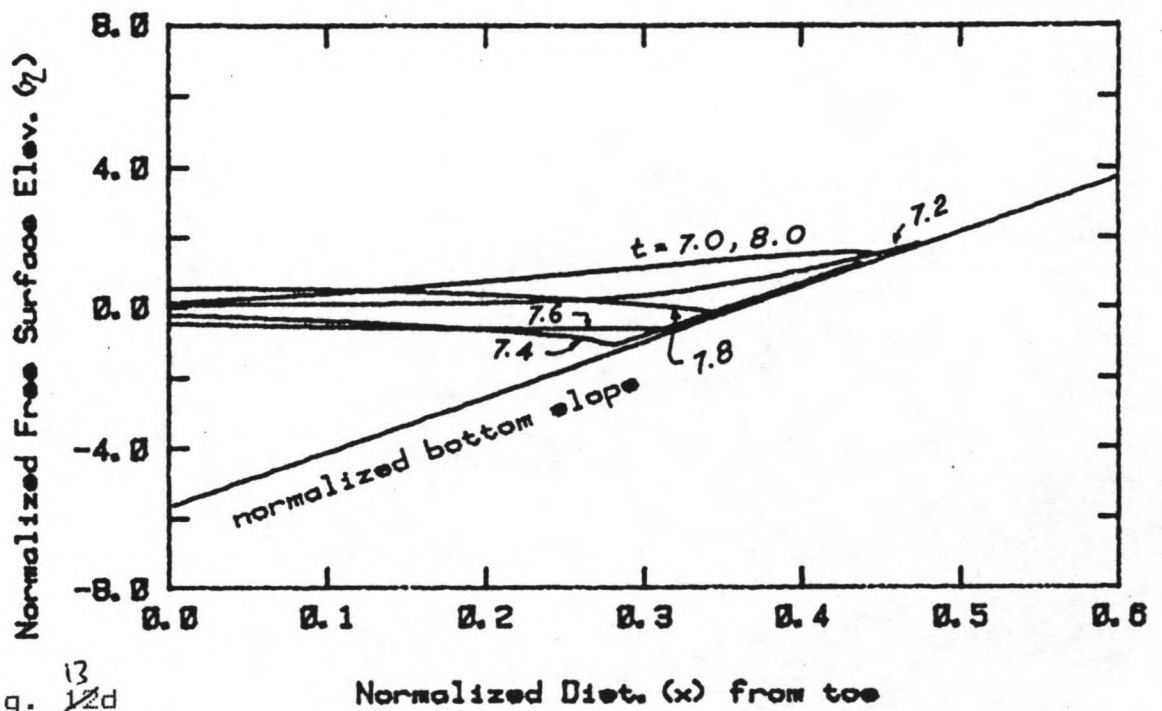


Fig. 13
12d

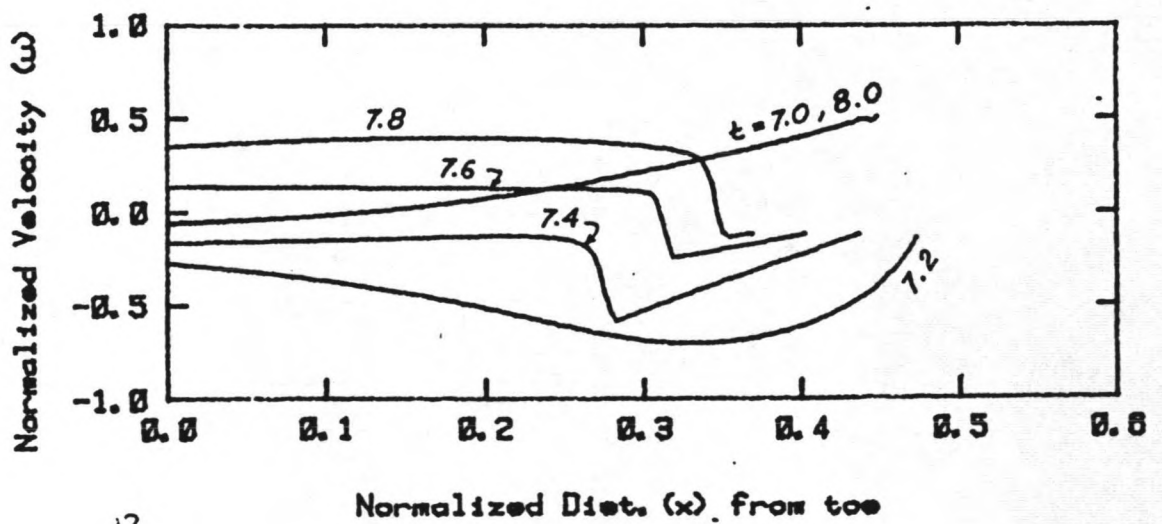


Fig. 13
12e

Computed Free Surface Elevations
and Depth-Averaged Velocities at
 $t = 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0$
for Data from Ahrens' Test No. 5

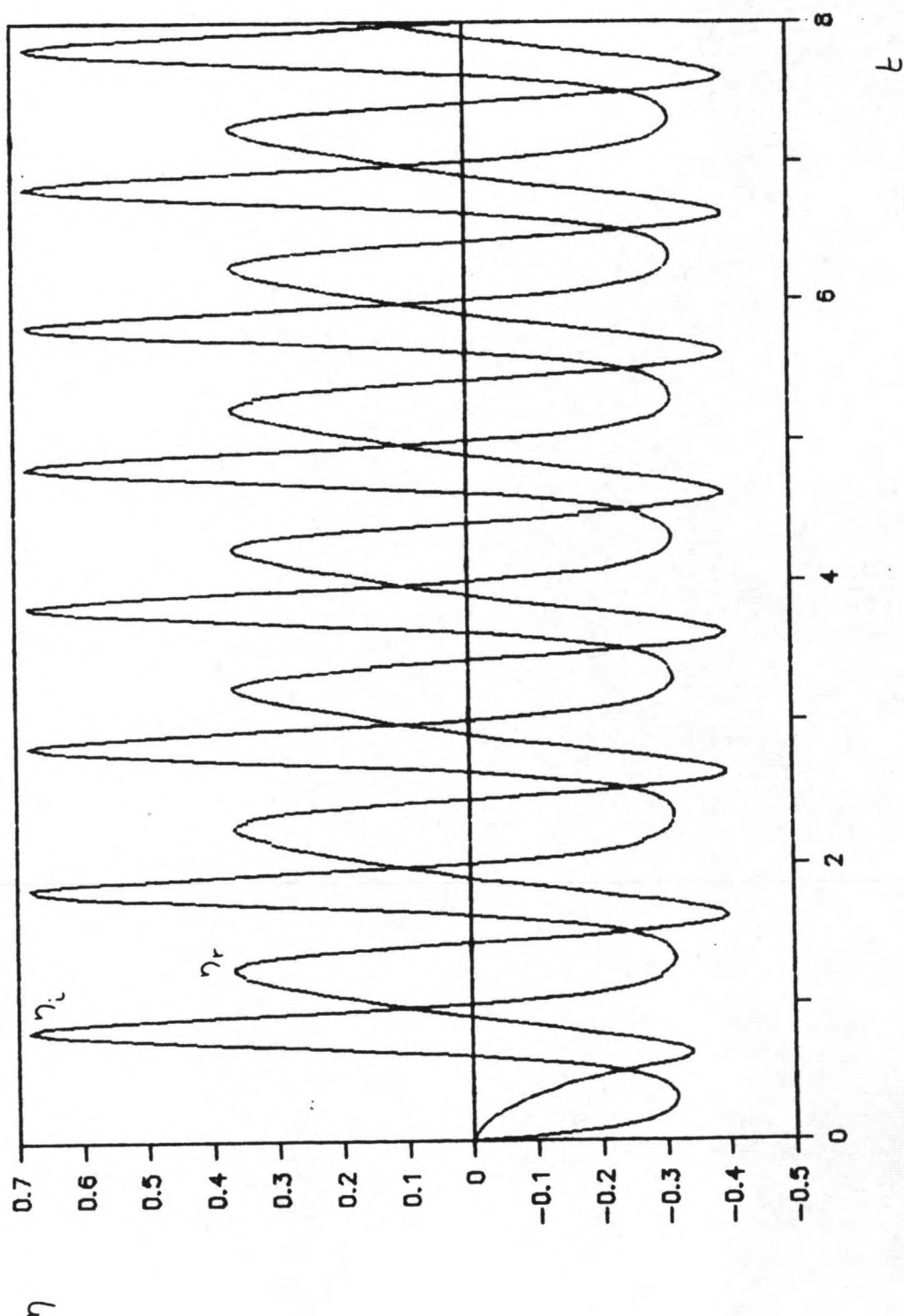


fig. ¹⁹~~13a~~ De inkomende en gereflecteerde
golfhoogte tegen de tijd op de
zeewaartse rand behorende bij
Ahrens' test no. 5

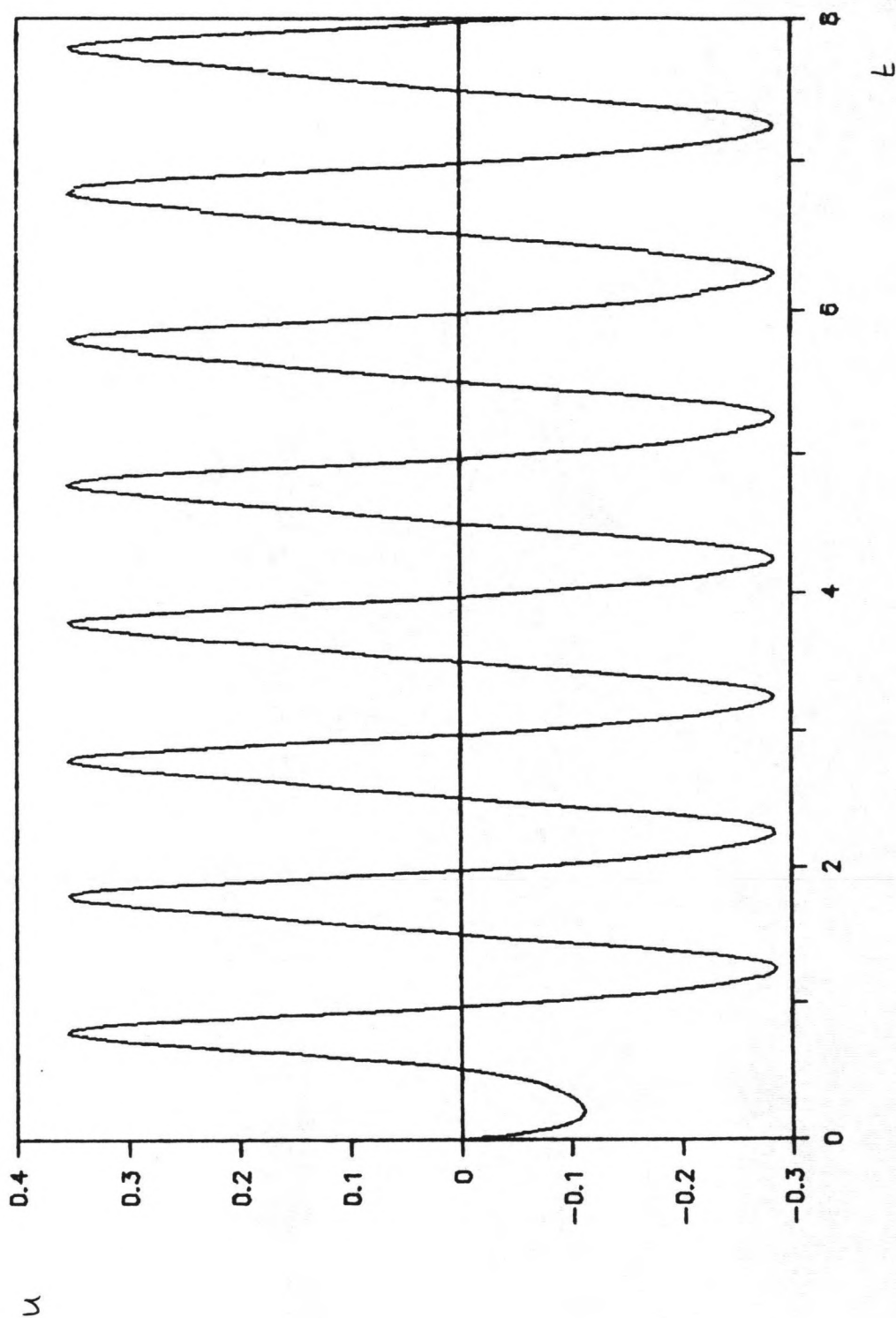


fig. ¹⁹~~18~~b De snelheid tegen de tijd op de
zeewaartse rand behorende bij
Ahrens' test no. 5

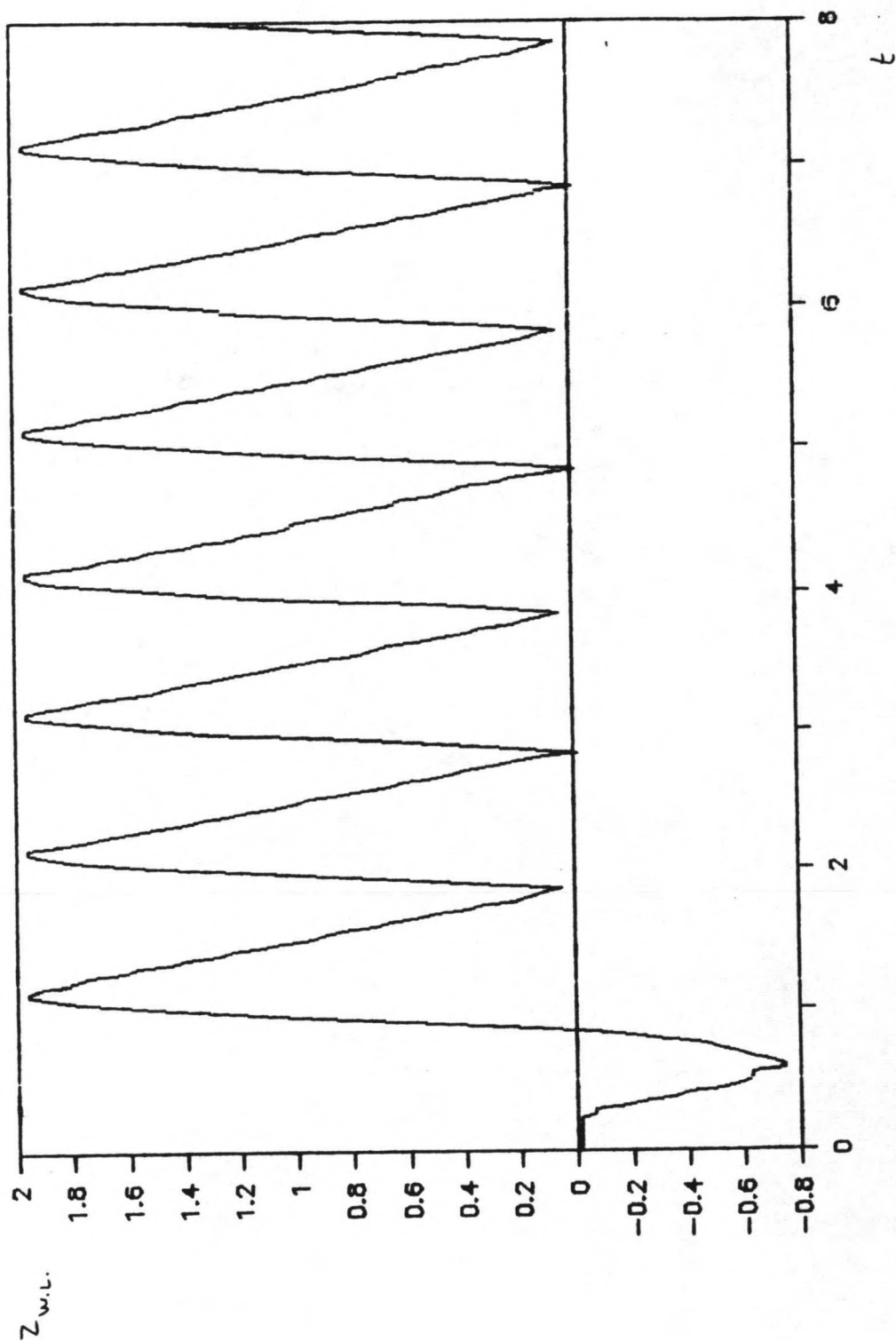


fig. 13c ¹⁹ De beweging van de waterlijn
 tegen de tijd behorende bij
 Ahrens' test no. 5

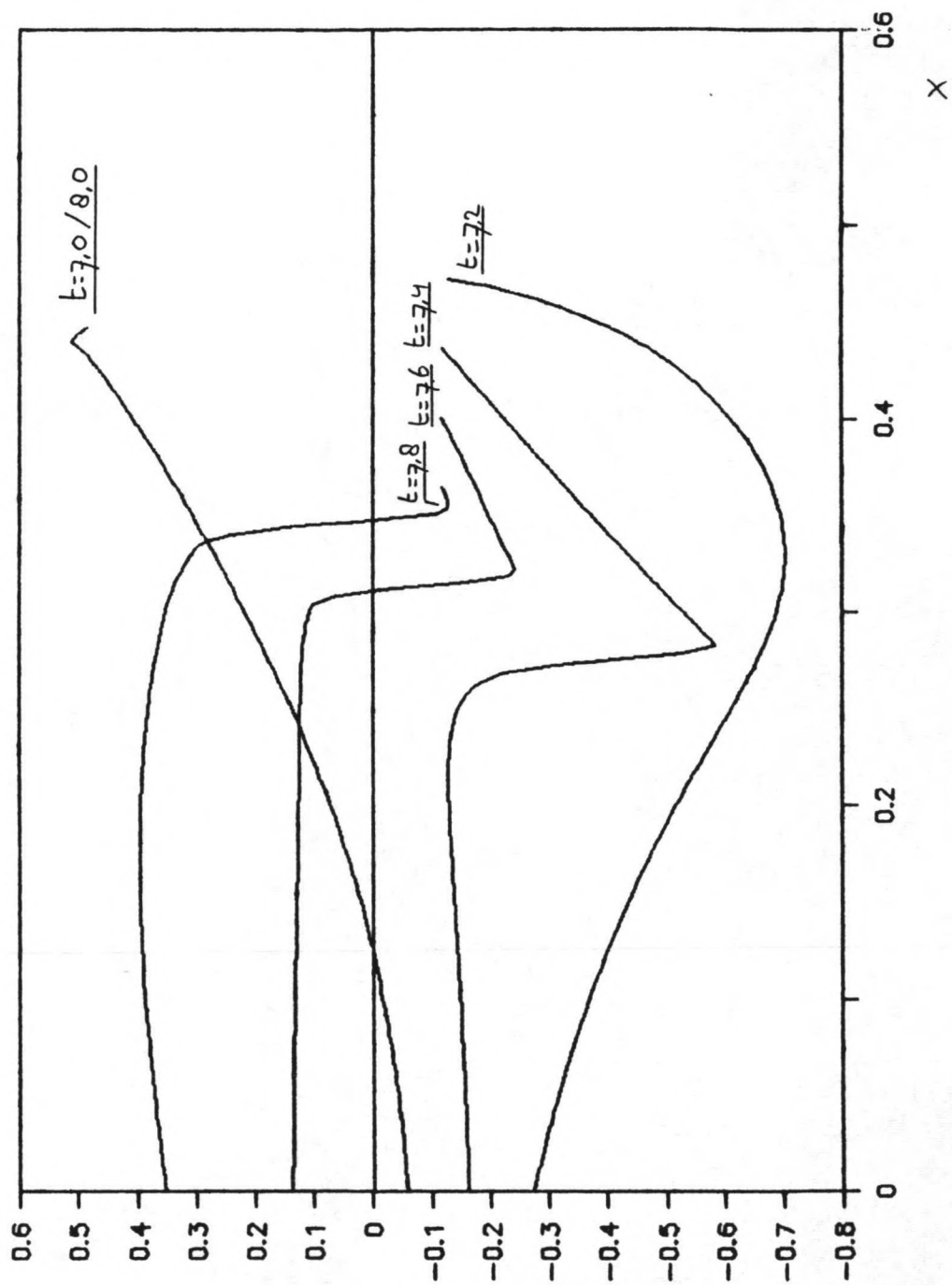


fig. ⁴ ~~5~~ De snelheid tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 5

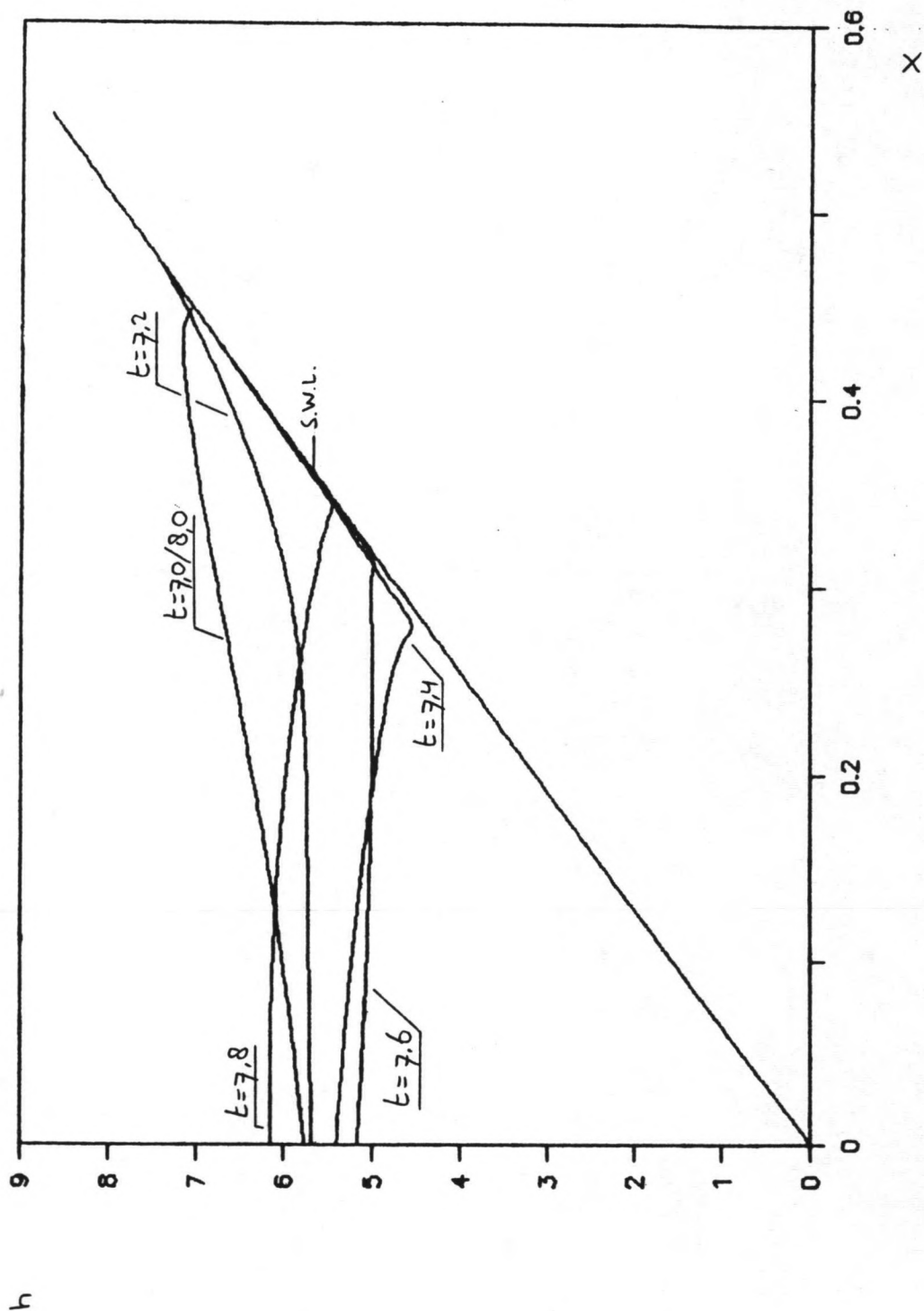


fig. 14 ~~13d~~ De waterdiepte tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 5

≈ 6.27

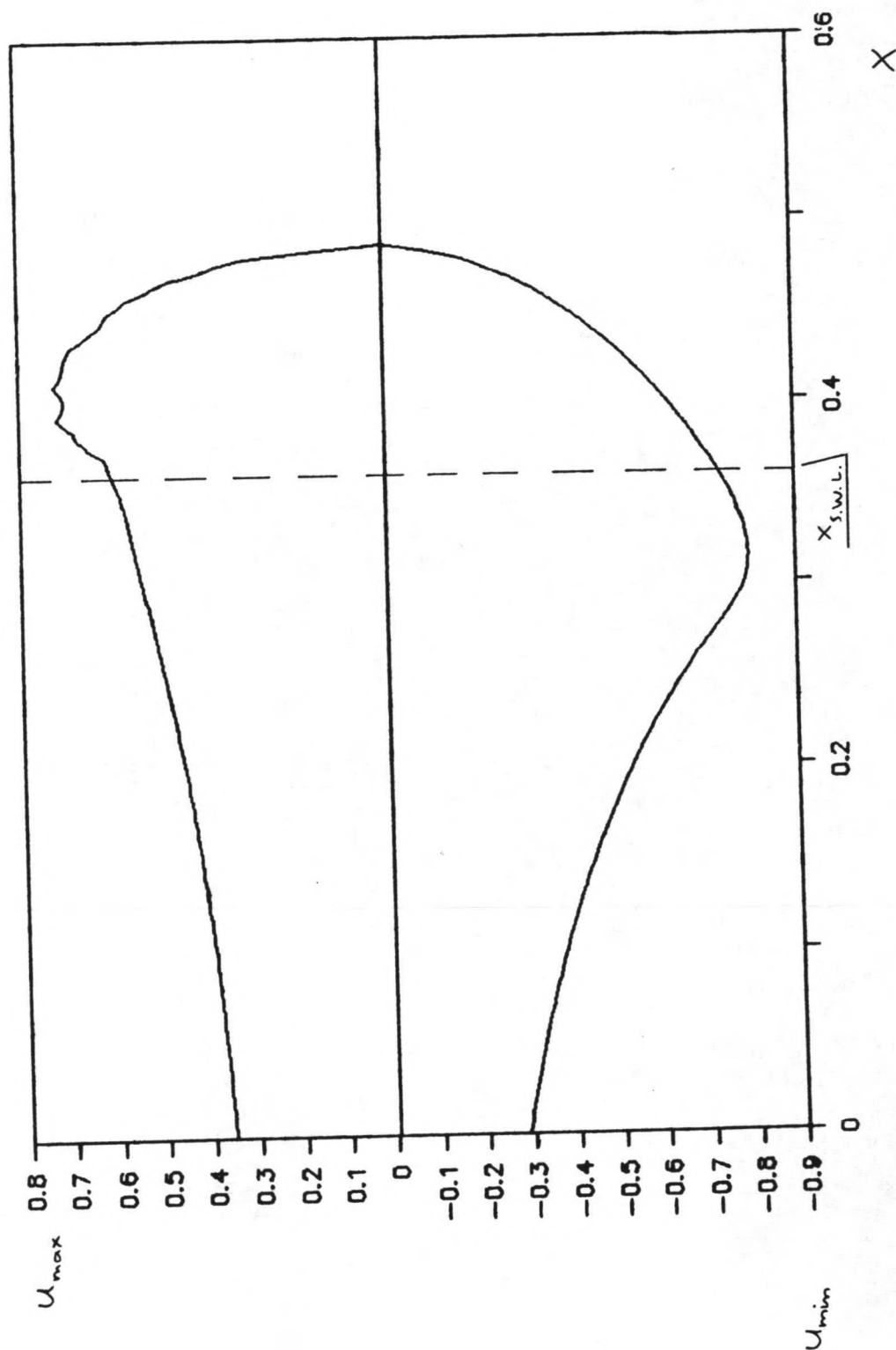


fig. ¹⁴ 13f De maximale en minimale snelheid in de tijd tegen de plaats op het talud behorende bij Ahrens' test no. 5

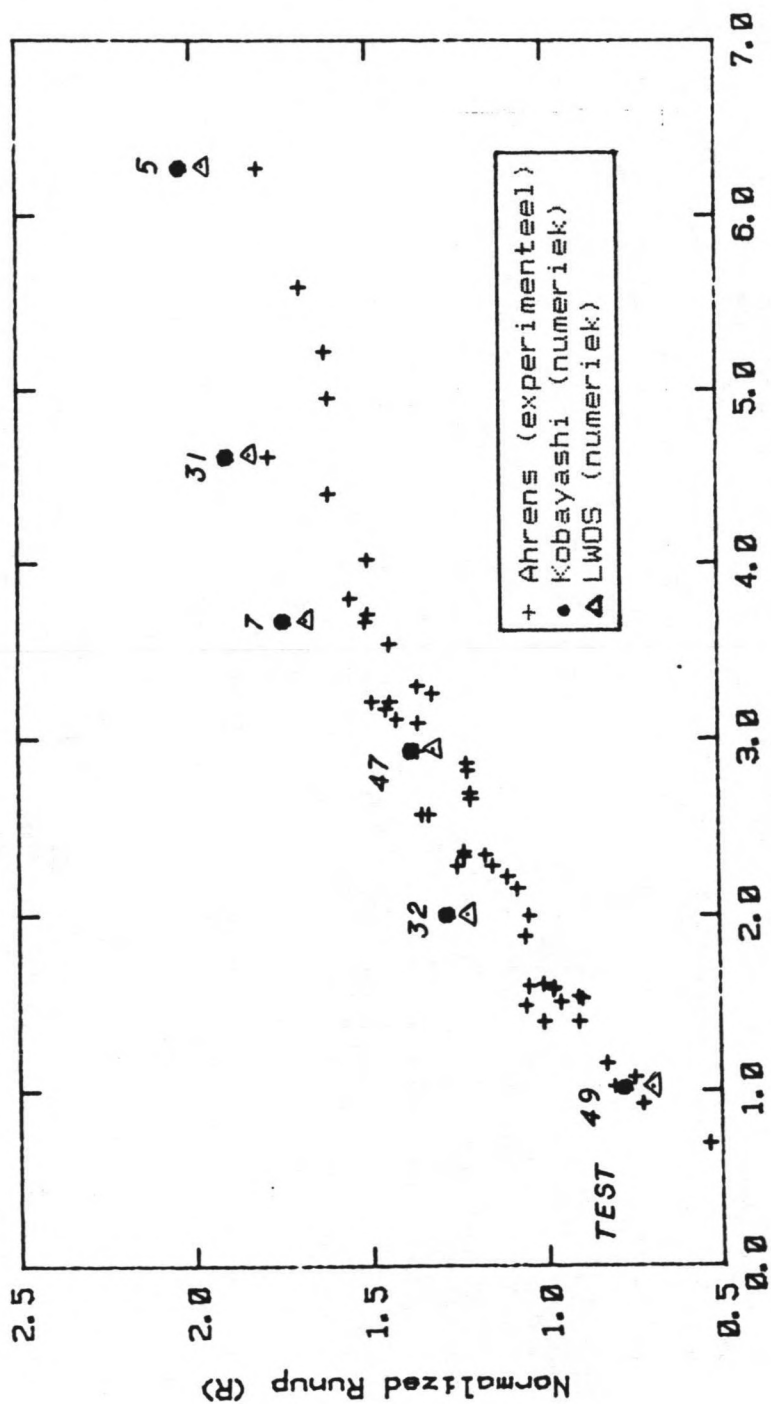


Fig. 14 Comparison of Computed Runup with Experimental Runup Data of Ahrens

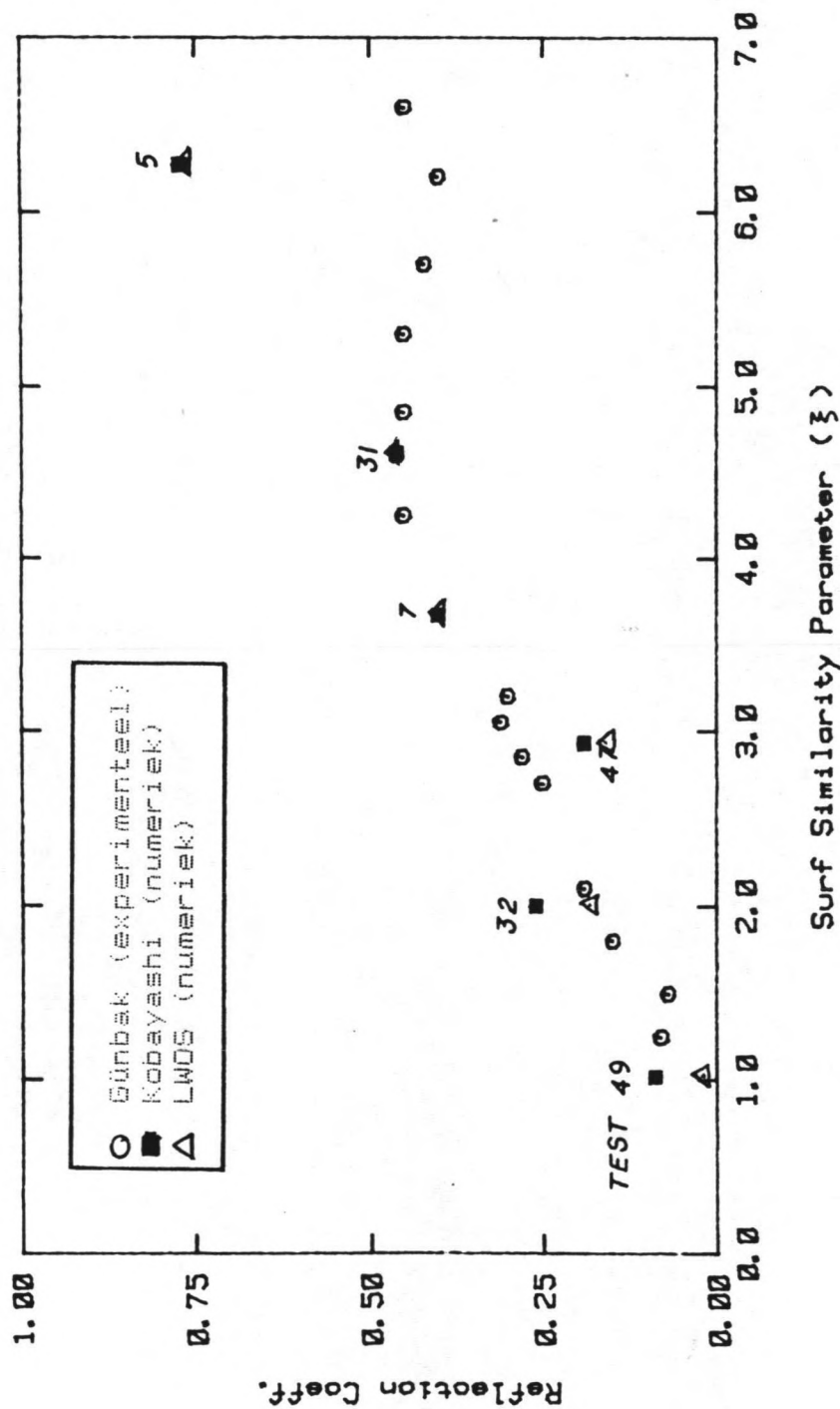


Fig. 1516 Comparison of Computed Reflection Coeff. with Experimental Data of Gunbak

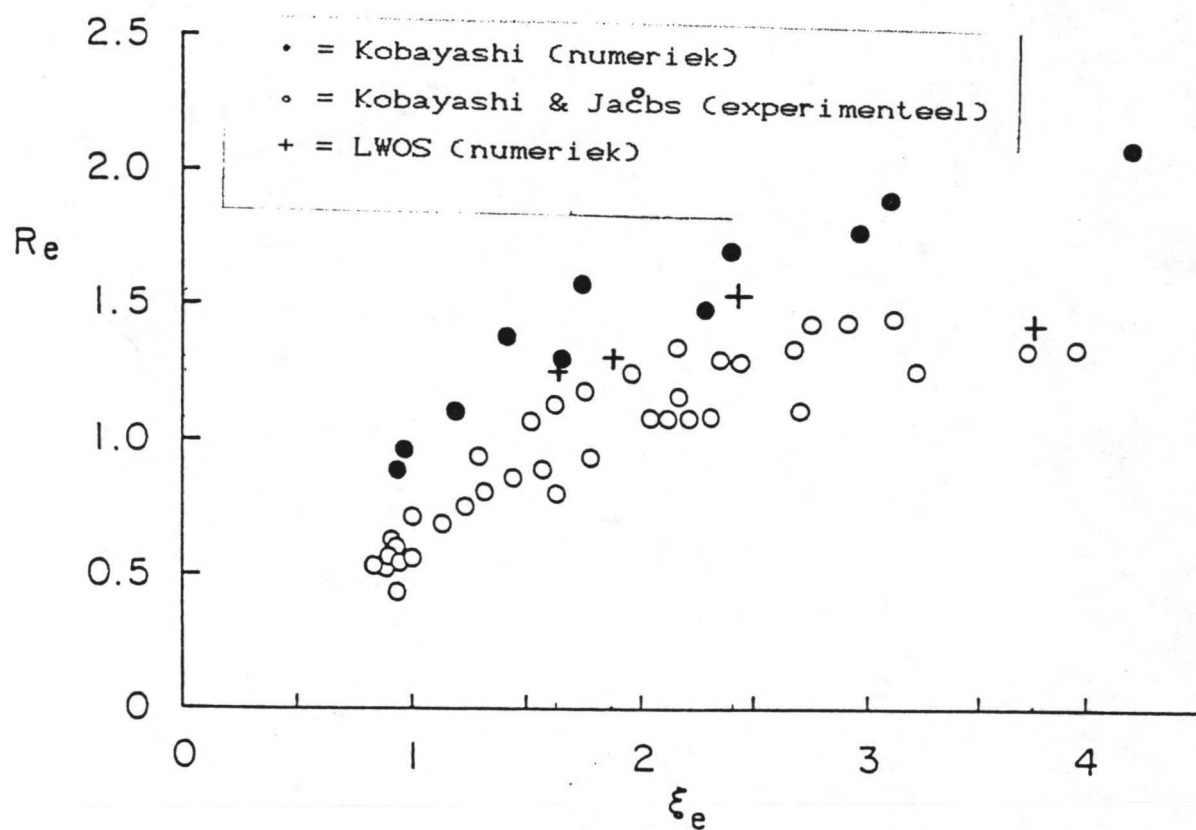


fig. 17 : Comparison with measured runup on composite slopes.

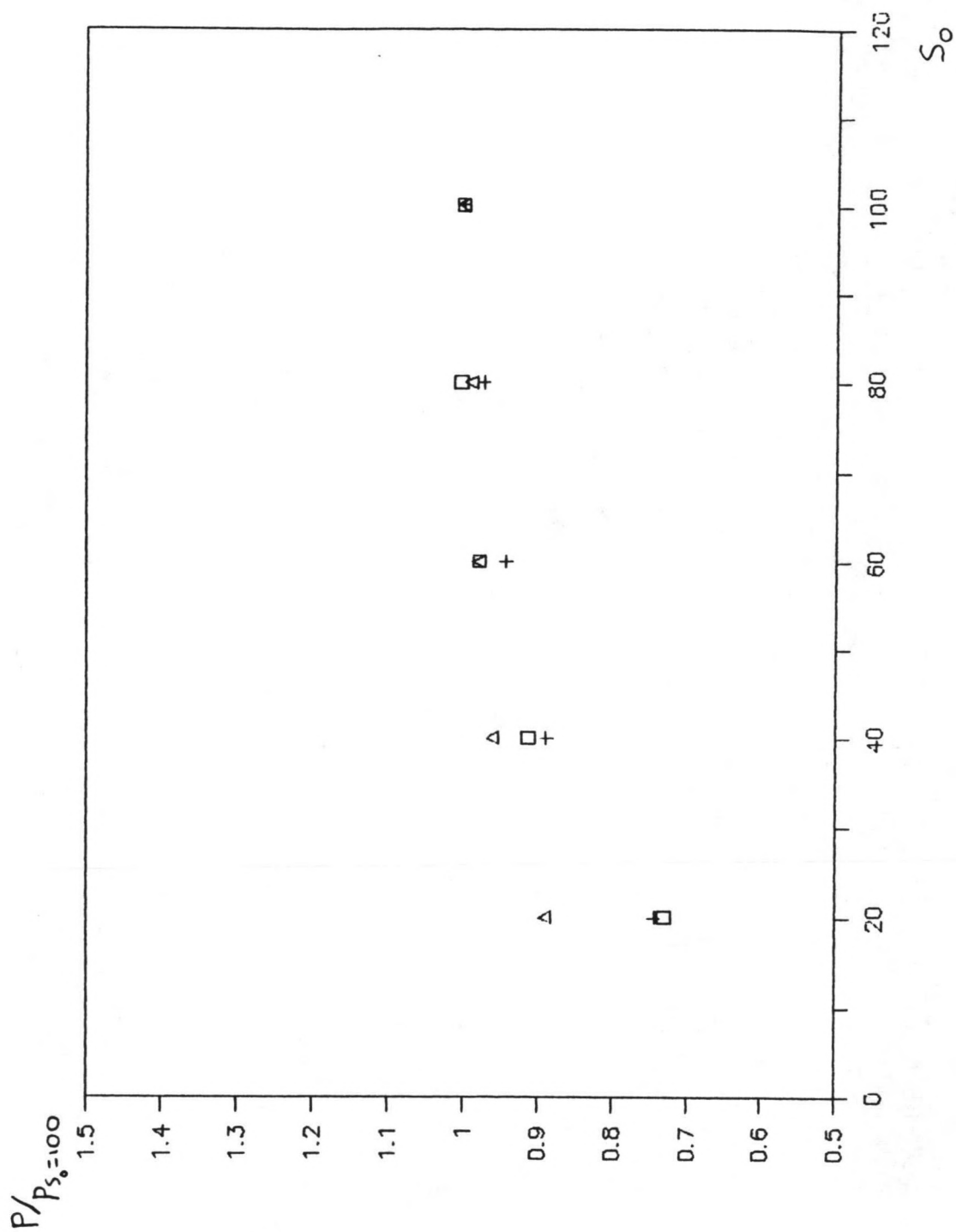


fig. 18 De invloed van de stapgrootte op de waterbeweging

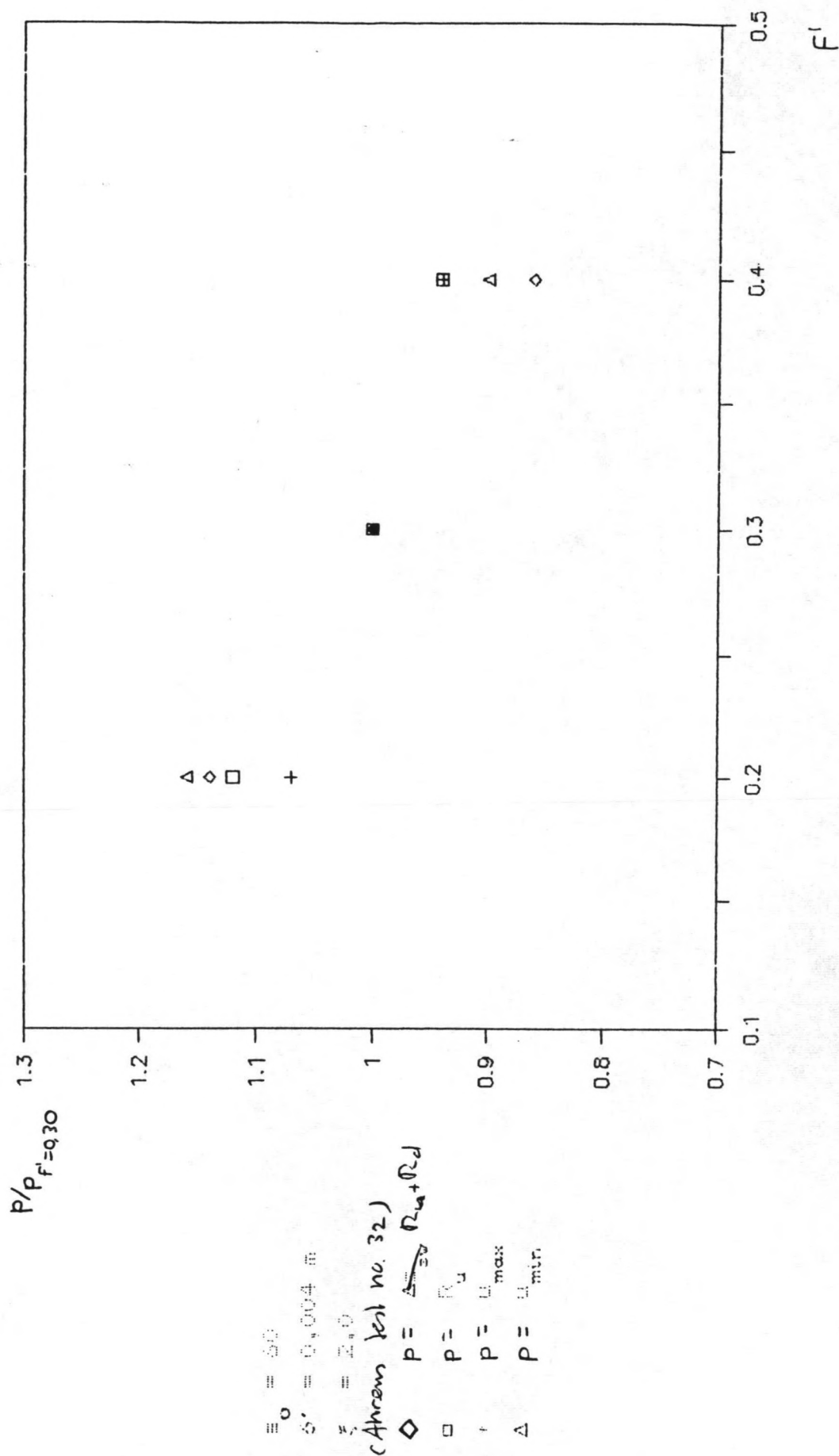


fig. 7 *van* De invloed van de wrijvingsfactor op de waterbeweging

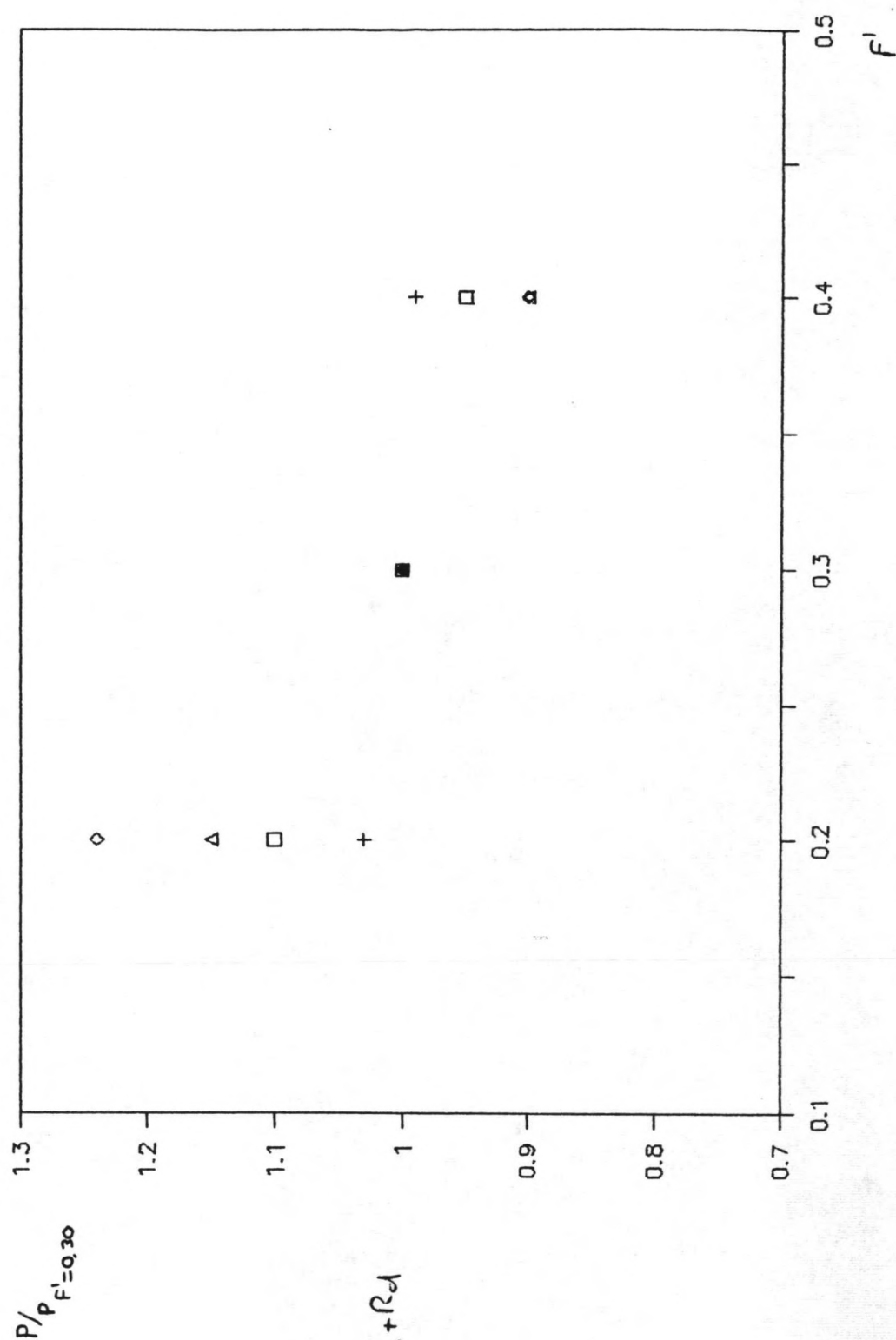


fig. 19b De invloed van de wrijvingsfactor op de waterbeweging

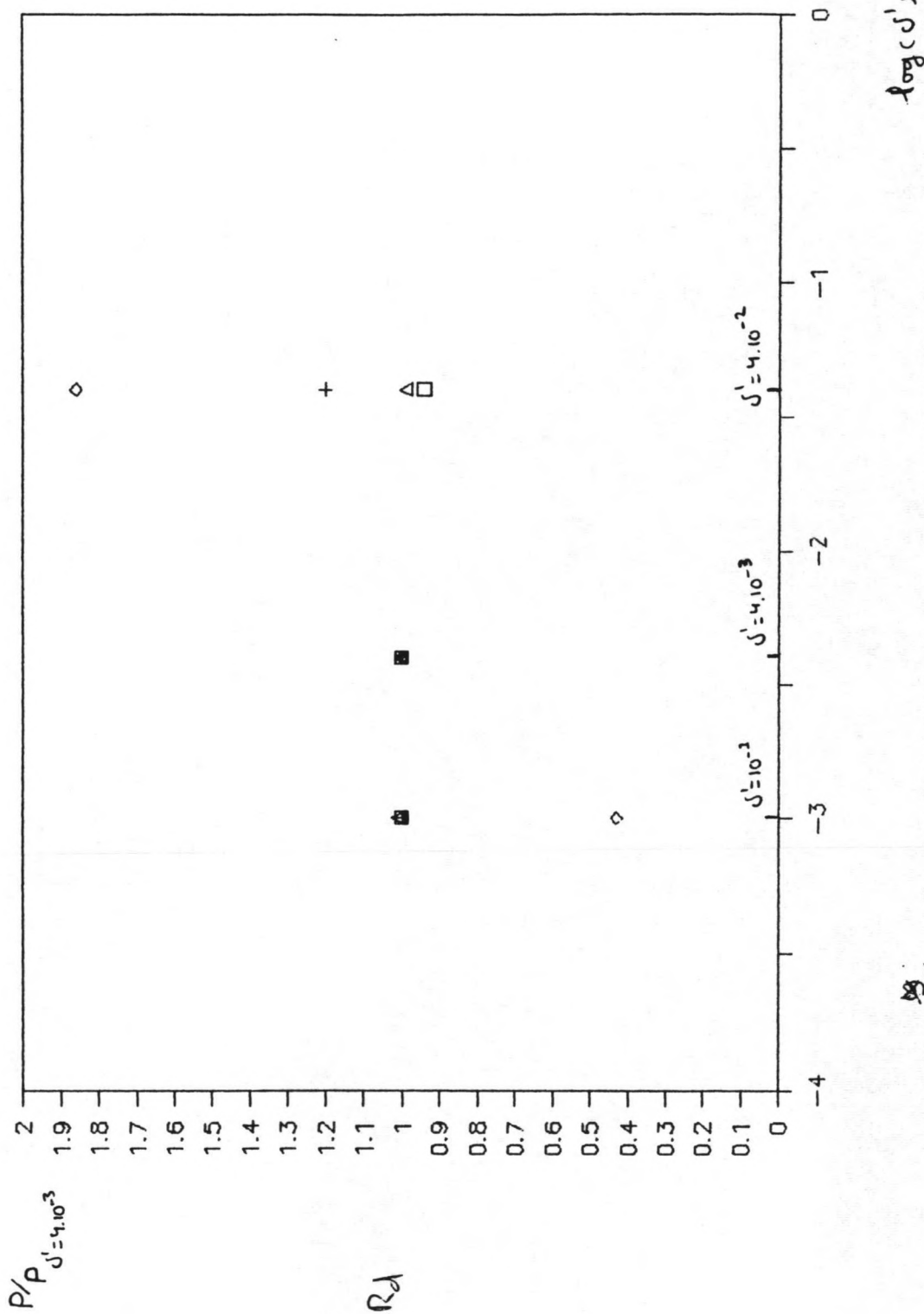


fig. 19. De invloed van de minimale waterdiepte op de waterbeweging

$P/P_{d'=4 \cdot 10^{-3}}$

$$S_0 = 60$$

$$F' = 0,30$$

$$\gamma = 6,3$$

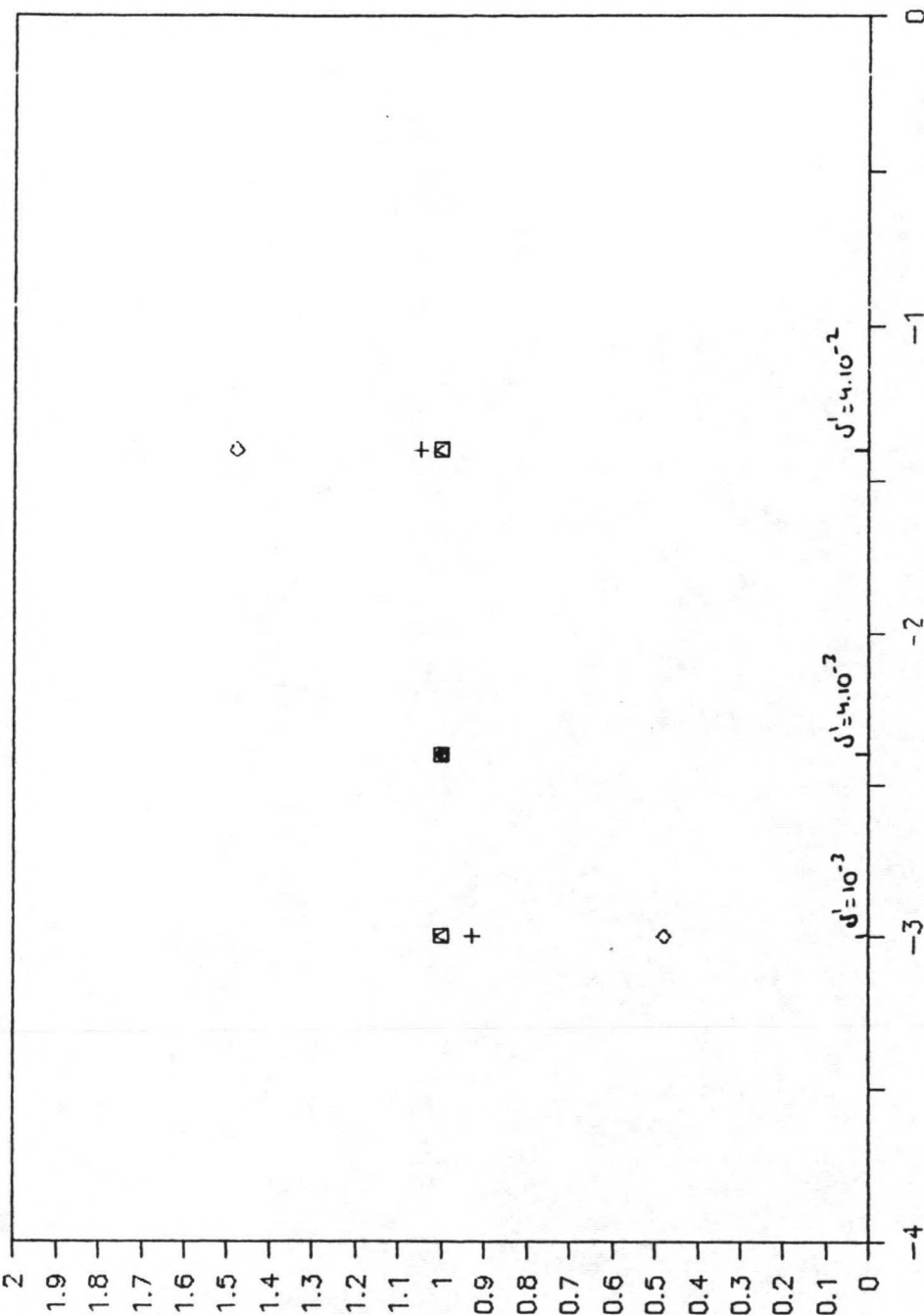
(Ahrens last no. 5)

$$\diamond = \frac{R_u}{R_u + R_d}$$

$$\square = R_u$$

$$+ = u_{max}$$

$$\Delta = u_{min}$$



206

fig. 2

De invloed van de minimale waterdiepte op de waterbeweging

$\log(d')$

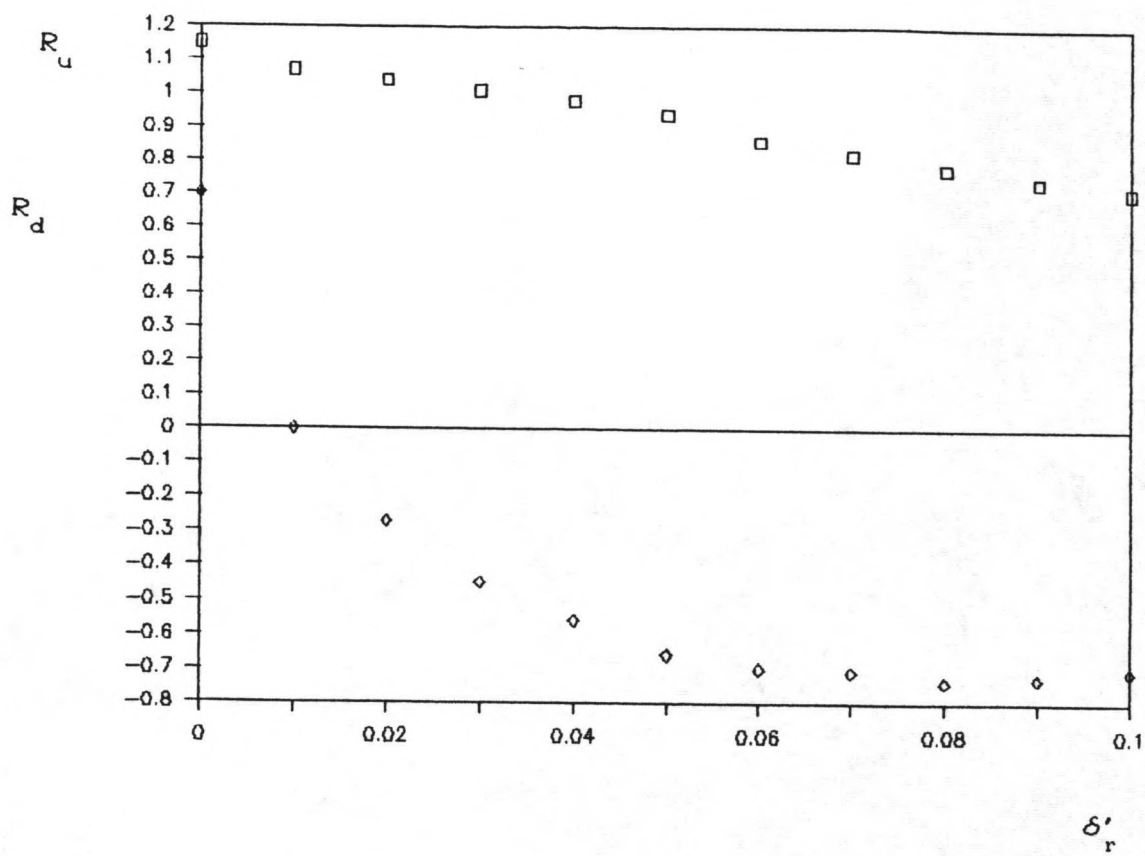
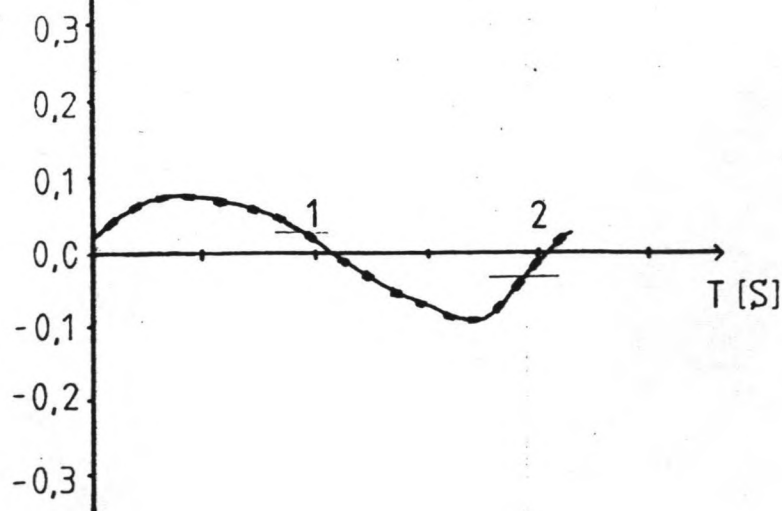
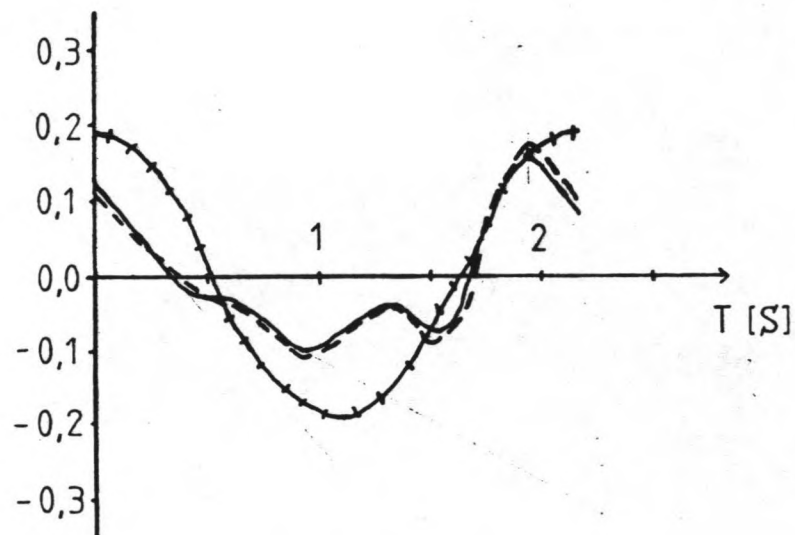


fig. 21 : De invloed van δ_r' op de golfoploop en de golfneerloop.

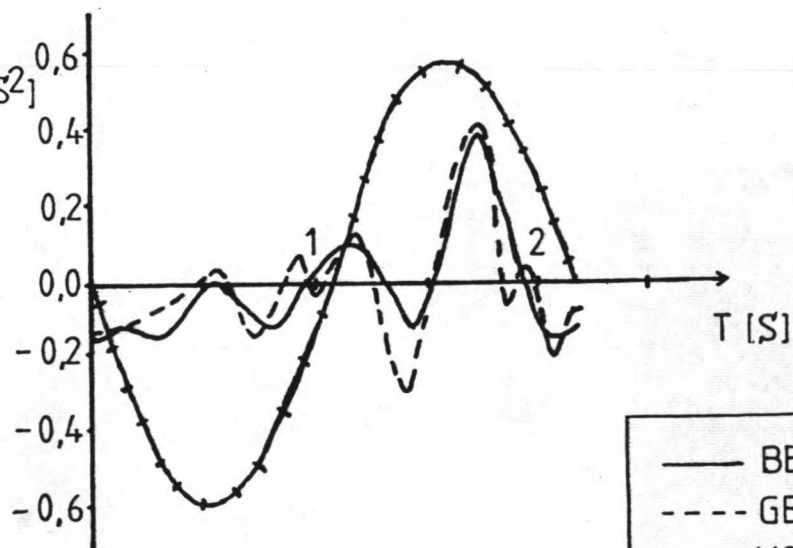
OP/AFLOOP [M]



SNELHEID [M/S]



VERSNELLING [M/S²]



— BEREKEND
 --- GEMETEN
 +++ VOLGENS W.&W.

OP/AFLOOP-, SNELHEIDS- EN VERSNELLINGSSIGNAAL,
 RESP. GEMETEN, BEREKEND ALS SOM VAN VIJF HARMO-
 NISCHEN EN VOLGENS WALTON EN WEGGEL [4]

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

P 01

S 467

FIG. 822

