

台中港港口擴建北防波堤延伸堤頭動床試驗

主 持 人：張 金 機

參 與 人 員：黃 清 和 邱 永 芳

 陳 明 宗 江 金 德

 蔡 金 吉 蔡 瑞 成

 何 炳 紹 李 永 勝

 陳 進 冰

圖 名

- 圖 4-1 平面佈置圖
- 圖 4-2 N方向斷面1之地形變化圖
- 圖 4-3 N方向斷面2之地形變化圖
- 圖 4-4 N方向斷面3之地形變化圖
- 圖 4-5 N方向斷面1累積造波後地形變化圖
- 圖 4-6 N方向斷面2累積造波後地形變化圖
- 圖 4-7 N方向斷面3累積造波後地形變化圖
- 圖 4-8 NW方向斷面1之地形變化圖
- 圖 4-9 NW方向斷面2之地形變化圖
- 圖 4-10 NW方向斷面3之地形變化圖
- 圖 4-11 NW方向斷面1累積造波後地形變化圖
- 圖 4-12 NW方向斷面2累積造波後地形變化圖
- 圖 4-13 NW方向斷面3累積造波後地形變化圖
- 圖 4-14 NNW方向斷面1之地形變化圖
- 圖 4-15 NNW方向斷面2之地形變化圖
- 圖 4-16 NNW方向斷面3之地形變化圖
- 圖 4-17 NNW方向斷面1累積造波後地形變化圖
- 圖 4-18 NNW方向斷面2累積造波後地形變化圖
- 圖 4-19 NNW方向斷面3累積造波後地形變化圖

台中港港口擴建北防波堤延伸堤頭動床試驗

一、前 言	~ 1 ~
二、試驗目的	~ 2 ~
三、試驗設備及步驟	~ 3 ~
四、試驗結果與討論	~ 8 ~
附 圖	~ 12 ~
照 片	~ 31 ~
附 錄	~ 32 ~

壹、前 言

台中港冬季受東北季風之影響，使得來往船隻，在強風侵襲時進港受風浪的威脅。此外受北防波堤阻擋由北方沿岸而下之沿岸流，在堤頭附近產生強烈東流，除對船隻進港造成威脅外，亦對堤頭附近地形產生嚴重的沖刷，影響防波堤堤基穩定性。

擴建計畫北防波堤延長 850公尺，在偏西南向波浪入侵時防波堤導浪對港池水域造成負面影響，除辦理防波堤導浪三維試驗外，為瞭解防波堤延伸後堤頭穩定情形，辦理堤頭穩定三維動床試驗，作為設計之依據，以期能良好掌握擴建延長後港池波浪及堤頭穩定狀況。謹就堤頭穩定三維動床試驗敘述如下：

貳、試驗目的

台中港現有防波堤堤頭流況測量結果，顯示在強烈東北季風侵襲期間，堤頭附近有不可忽略之流速存在。而從實際水深之量測資料可驗證堤頭附近產生嚴重沖刷。為瞭解擴建延長後，堤頭受波浪沖刷之特性及堤頭護基塊石穩定性而辦理本試驗，以期能尋求最佳斷面佈置，做為設計堤頭斷面時之參考。

參、試驗設備及步驟

一、試驗設備

本試驗利用本所第二試驗場棚辦理，其主要試驗設備如下：

1. 試驗水池

長62m，寬51m，深1m，附屬設備有蓄水池恆壓水塔、環流設備、活動台車及吊車等。

2. 不規則造波機

丹麥 DHI製造之油壓推移式造波機，主要動力為二部20HP馬達，使油壓維持在140bar壓力，利用讀紙帶機輸入現場波浪資料，經由信號產生器及伺服閥等控制四台 5.5公尺長之造波機，以模擬外海實測波浪製造試驗所需各種波浪條件。

3. 資料處理系統

試驗水池內各測點水位高低經由容量式波高計感應後，輸入增幅器轉變為電壓，經由電橋輸入PC，由PC內之 A/D轉變成數位訊號，儲存於PC之記憶體內，而後再利用PC做資料的處理。

4. 水準儀

使用 Nikon 之水準儀量測地形之高低變化。

5. 波高計及增幅器

波高計為容量式波高計

二、試驗條件

1. 模型縮尺

由於波浪運動主要受重力因素所主宰，所以依據相似律原則 (Similarity Law) 模型與原型之間物理量的比例換算則由福祿德相似律 (Froude's Similarity Law) 決定。其各物理量的縮尺關係為

(1) 長度縮尺： $L_r = L_m / L_p = 1 / 49$

(2) 時間縮尺： $T_r = T_m / T_p = (L_m / L_p)^{1/2} = 1/7$

(3) 重量縮尺： $W_r = W_m / W_p = (L_m / L_p)^3 = 1/49^3$

其中下標所註，m 為模型尺度，p 為原型尺度。

2. 波浪條件

(1) 波高與週期

試驗波浪之條件採用中華港埠服務社所提供之條件為準
如下表所示：

條件 情況	波 高		週 期	
	原型 (m)	模型 (cm)	原型 (sec)	模型 (sec)
1	2	4.08	6	0.86
2	2.5	5.10	6	0.86
3	3	6.12	7	1.00
4	4	8.16	8	1.14
5	5	10.20	9	1.29
6	6	12.24	12	1.71
7	7	14.29	13	1.86
8	7.5	15.31	13	1.86

(2) 波向及水位

採 N , NNW 及 NW 三個方向為波浪入射方向，而水位採平均潮位。

3. 模型製作

- (1) 根據港埠服務社提供之台中港水深測量圖於試驗水池內製作 1 : 49 之堤頭動床模型海底等深線及防波堤構造物均按比例製作等縮尺模型。
- (2) 擴建延長 850公尺段按港埠服務社提供之沉箱斷面製作模型，於沉箱模型內按模型律填注等量之方塊或鉛塊以吻合重量縮尺。
- (3) 在延長段堤頭可能產生沖刷部份採動床模型，係以沙為材料鋪設床底，面積為 144平方公尺，相當於原型 345744 平方公尺。
- (4) 模型製作完成後以一公尺網路為測點，利用水準儀校驗各格點高程，並以進水方式複校等深線，以期現場等水深線在模型上重現。
- (5) 每一波向試驗完成後即將動床部份之沙重新翻動，以免沙內含水量過大粘結在一起，影響下一次試驗之獨立性及準確性，使每一次試驗之起始條件皆相同。

三、試驗步驟

1. 波浪條件之率定及校核

因動床試驗無法重複原始條件試驗，故對造波機率定工作極為重視，在未試驗前先率定波高及週期，使得油壓控制系統能依據要求之波浪條件造出波浪。

2. 選取控制點

以堤線為基線，堤頭為中心點，各方向各取 4 公尺作成 1 平方公尺網格共 81 測點，在每一測點插上一小木條為標示，以確保往後施測時量測位置固定。

3. 標尺零點校核

水準儀架設完妥後，將標尺置於平均水位處作為水位控制點，定出標尺之相對零點，以便利爾後地形測量。

4. 量測起始地形

進水至平均水位(即在本試驗水池內進水至 70 公分)後，利用試驗水池上之懸吊台車做整個平面控制點的高程測量，為求不影響模型的準確性，將水準儀架設在水槽外。

5. 造波試驗

根據率定造波條件啟動造波機。由於紙帶記錄約可連續造波 3~5 分鐘波浪(視週期長短而定)，因此每次造波時間約 4 分鐘，造波 1 分鐘後開始記錄波浪資料，每次以 $H_{1/3}$ 及 $T_{1/3}$ 之大小來微調修正油壓強度，確保每次造波之 $H_{1/3}$ 及 $T_{1/3}$ 之精確度，每一波浪條件需累計造波達 20 分鐘，再變換造波條件。

6. 地形變化量測

每一試驗條件造波累計20分鐘後，待試驗池水靜即開始量測
每一測點之高程。

7.重複 5及 6步驟至八種波浪試驗條件完成。

8.護基方塊穩定性之觀測

每變換一次波浪條件前以目測觀察護基方塊和沉箱是否有移
位或崩坍，如有即以照相記錄。

肆、試驗結果與討論

一、堤頭沖淤試驗結果

為瞭解堤頭附近在各種試驗條件下變化情形，選擇堤頭前 1 公尺、堤頭及堤頭後各 1 公尺三個斷面如圖 4-1，分別稱為第 I、II 及 III 斷面。依波浪入射方向在不同試驗條件各作用 20 分鐘後，試驗結果分別敘述如下：

1. N 方向入射波浪

N 方向入射波浪由小而大，各試驗條件波浪作用 20 分鐘後，堤頭附近地形高程測量結果如附錄圖 A-1。圖 4-2 係取堤頭前第 I 斷面各試驗階段斷面變化，由此圖可得知在海側部份由波高 2 公尺至 3 公尺之連續造波下，產生微量堆積地形，波高在 4 公尺至 5 公尺時反成侵蝕地形，波高超過 5 公尺時地形又成堆積狀態，呈現最大侵蝕時為 0.8 公分（實體上為 39.2 公分）最大堆積為 2 公分（實體上為 1 公尺），由以上之描述可知地形變化量很小又隨波高週期做堆積與侵蝕之往覆變化，由此可以研判地形改變僅為堤頭附近地形受波浪作用產生之沙漣變化，因試驗室內無法模擬沿岸流，而未造成沿岸流刷深底床的現象，在港側亦有相同情況發生。

圖 4-3 及圖 4-4 為第 II 及第 III 斷面在 N 向入射波作用下，各種試驗條件試驗 20 分鐘之地形變化圖，其變化與第 I 斷面有相同之趨勢。圖 4-4 港側部份地形大部份呈現堆積現象

係由於第Ⅲ斷面 N向波浪作用時港側為遮蔽區波浪較小而形成的堆積現象。由圖 4-5至圖 4-7為試驗起始地形與 N向波浪由小而大試驗結束後地形之比較圖，三個斷面地形呈微量堆積並呈鋸齒之變化，此種現象研判可能受短峰波作用之影響。綜合以上可知，三個控制斷面皆呈現微量堆積現象，堆積量約1 公分左右(實體上約50公分)。

2. NW方向入射波浪

NW方向波浪入射時各階段測區高程變化如附錄圖A-2，圖4-8及圖 4-9可得知第Ⅰ及第Ⅱ斷面海側部份皆呈侵蝕情況，侵蝕高度約在 0.5~1.5 公分之間（實體上約為25公分至75公分之間）。圖 4-10顯示堤頭內 1公尺處第Ⅲ斷面之海側部份呈鋸齒狀之堆積分布，研判係由短峰波作用引起之地形變化，唯入射波與防波堤間之角度不大，現象不甚明顯。圖 4-8至4-10港側部份，由於防波堤未能有效遮蔽NW方向入射波浪，航道波高偏大，堤內側皆呈侵蝕，而較外側再出現堆積現象，但侵蝕與堆積量皆不大，約為 1公分左右（實體上約為50公分左右）。圖 4-11至圖 4-13分別為三個斷面試驗初期地形與 NW 向八種試驗波浪各作用20分鐘後地形比較圖，圖 4-11至圖4-13顯示三個斷面變化趨勢相當一致。

3. NNW方向入射波浪

NNW 向試驗結果各階段地形變化如附錄圖A-3。圖 4-14至圖 4-16分別為第Ⅰ、Ⅱ及Ⅲ斷面 NNW向波浪試驗結果之地形變

化圖。由圖 4-14及 4-15可知試驗過程中除少部份呈現侵蝕與堆積反覆情形外，堤海側大部份呈現堆積現象。圖4-16之海側皆成堆積現象，其量約為 1~1.5 公分左右（實體上約為50~75公分）。距防波堤約 2公尺處（實體約100公尺左右）有一凸出形態之堆積，距 3公尺至 4公尺處呈現凹陷型態之堆積，研判此現象可能有短峰波作用的現象發生。由圖4-17至圖4-19三個斷面起始地形與最後地形比較，可知港側在距堤約 3公尺內皆呈侵蝕，而距堤 3公尺外出現堆積現象，其量約為 1公分，此現象據研判可能為沙漣變而不是流的冲刷結果。

二、沉箱及護基塊石穩定試驗結果

由三個方向試驗結果顯示，在 N方向波浪作用時入射波高約在 4公尺時即出現越波現象，NNW及 NW方向波浪侵襲時波高 5 公尺時才出現越波現象。越波對航道水域波浪影響有限，已涵蓋在繞射波浪中，附錄圖 A-1至圖 A-3分別為 N，NW及 NNW三個入射波向試驗波高係數。試驗進行時現場觀測防波堤斷面模型並未發生沉箱異動現象，試驗結束後量測結果顯示沉箱並無滑移情形，由此可知沉箱本身重量足夠抵擋波浪作用之外力。護基塊石在三個方向波浪作用下，雖有部份表面基礎拋石在較大波浪試驗時發生滾落，但均未造成集體滑動現象（如照片 4-1，4-2及 4-3），因此可以研判設計斷面護基塊石穩定性良好。

三、討論

試驗結果之分析比較顯示，在任一方向波浪作用下三個斷面僅產生微量地形變化，而未造成堤頭沖刷，影響堤基穩定進而有傾覆或晃動現象。究其原因研判係由於模型試驗時沿岸流無法實際模擬，而使得在堤頭深水處只有波浪水粒子往復運動作用所產生的沙漣變化，而未呈現沿岸流輸沙之功能，堤頭附近形成平衡狀態，但由底床沙漣形成情形可知在較大波浪作用下，海底泥沙運動轉趨劇烈，若再有沿岸流在堤頭附近束流影響，堤頭附近海底沖刷現象應可預期，但由堤基塊石穩定試驗結果顯示，護基塊石在波高 7.5公尺作用下仍未發生集體滑動，堤頭流速亦不致於帶動塊石產生體集體移動，因此可以研判護基塊石不致因沖刷而產生極劇不穩定現象。如欲更精確的研究堤頭是否在波浪及沿岸流雙重作用下而產生破壞現象，應再辦理較大範圍試驗並模擬沿岸流況，使受波浪擾動泥沙再受沿岸流帶動現象能在模型上重現，但無論如何，堤頭沖淤試驗均止於定性而非定量。

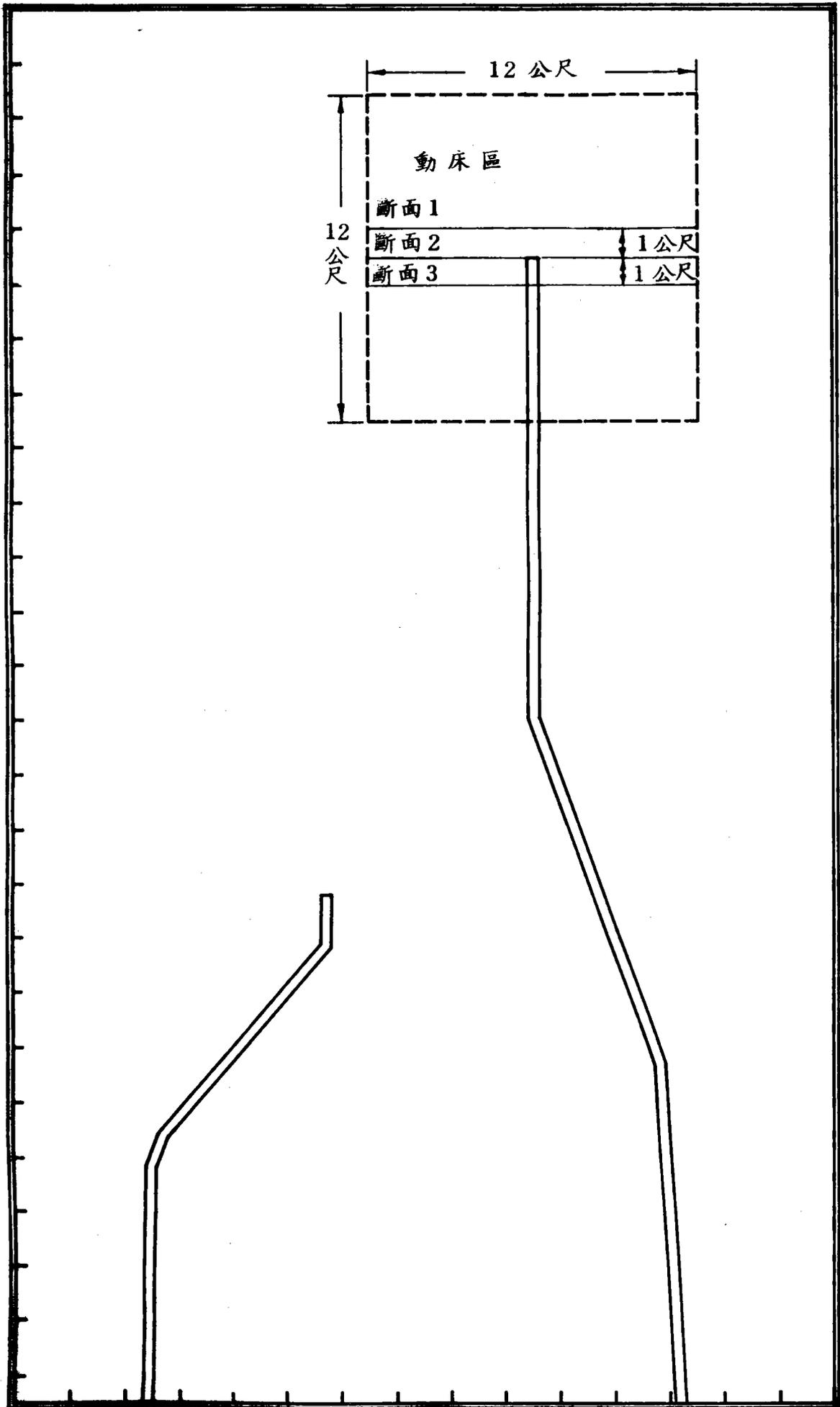


圖 4-1 平面佈置圖

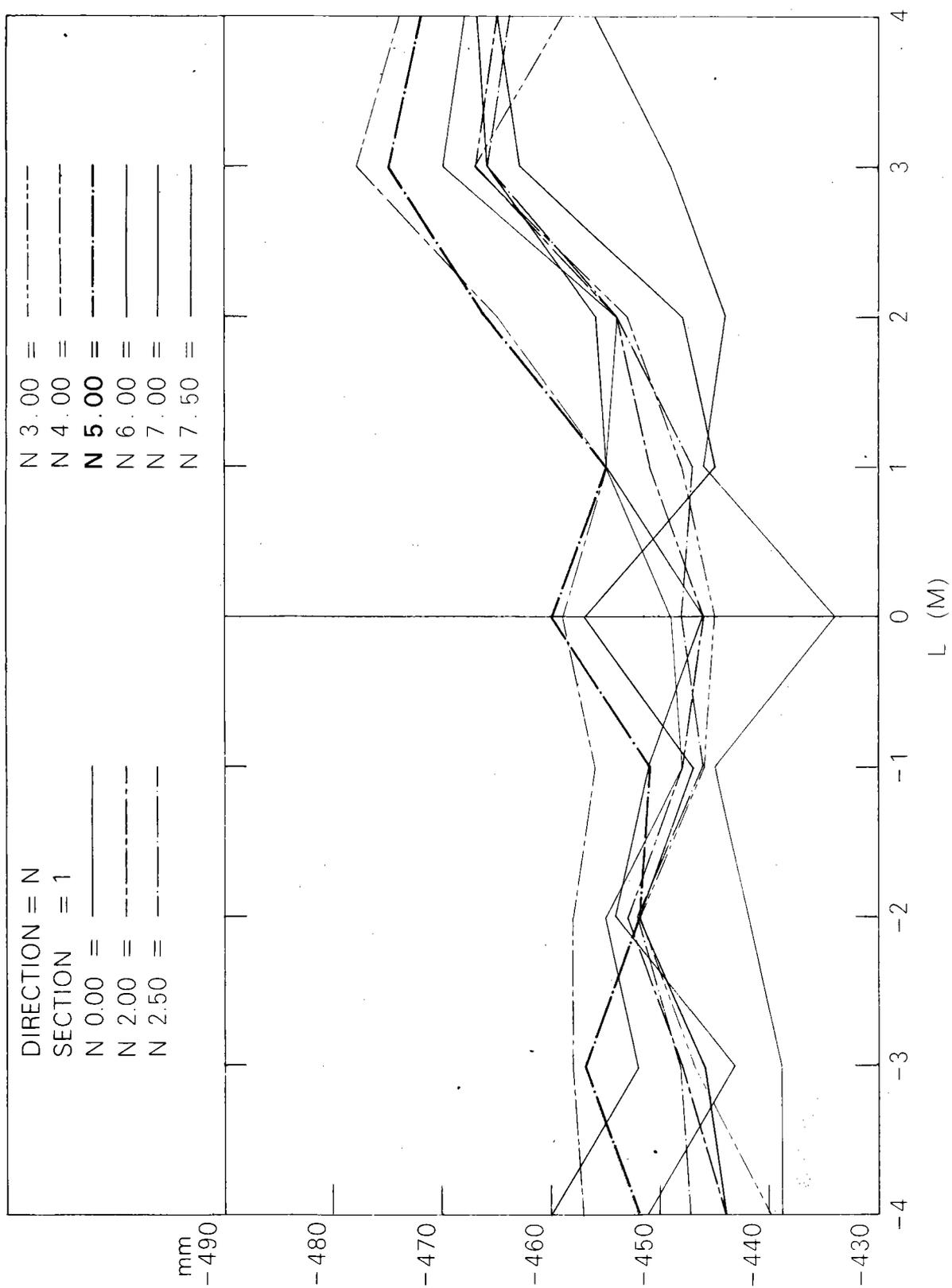


圖 4-2 N 方向斷面 1 之地形變化圖

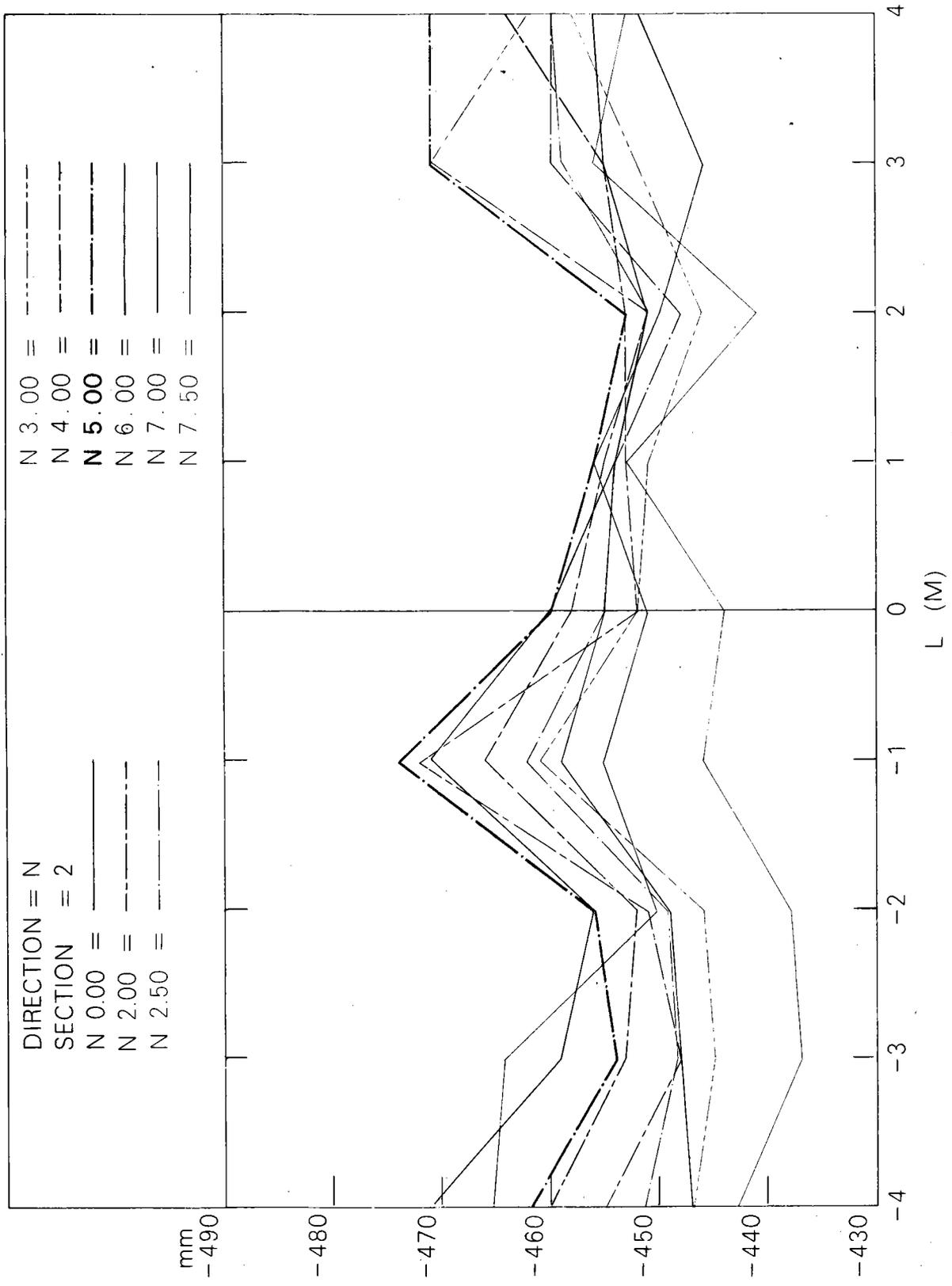


圖 4-3 N 方向斷面 2 之地形變化圖

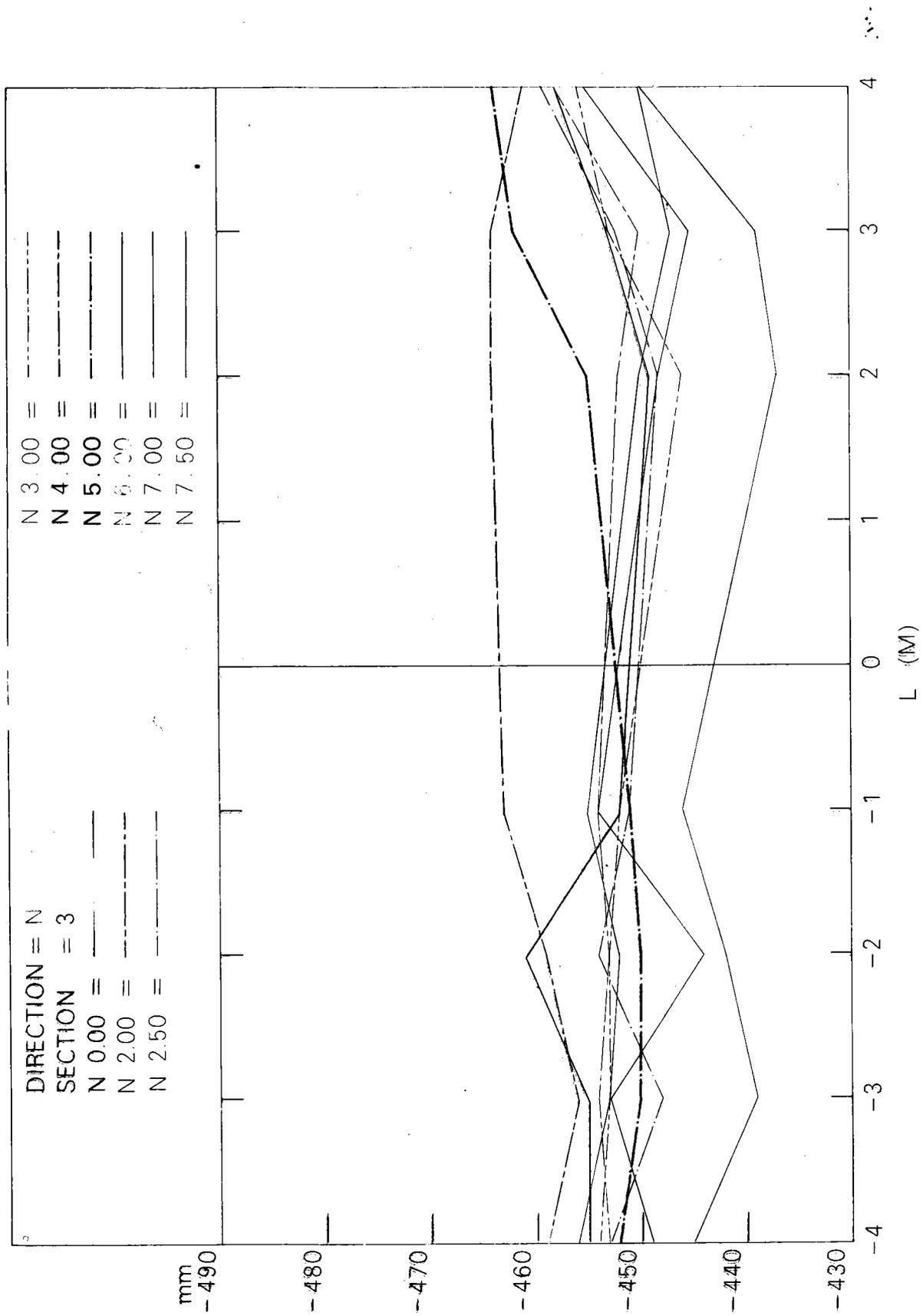


圖 4-4 N 方向斷面 3 之地形變化圖

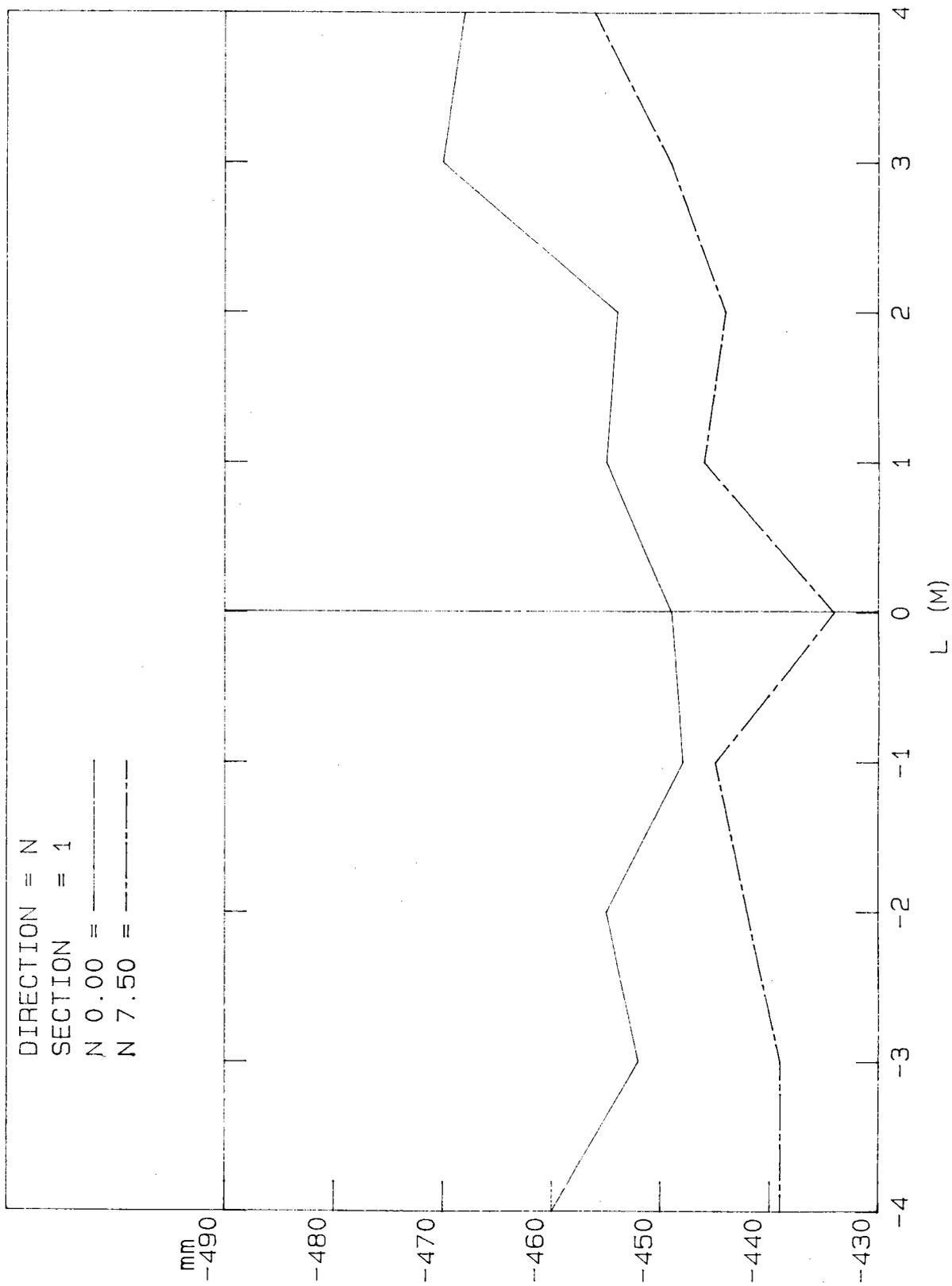


圖 4-5 N 方向斷面 1 累積造波後地形變化圖

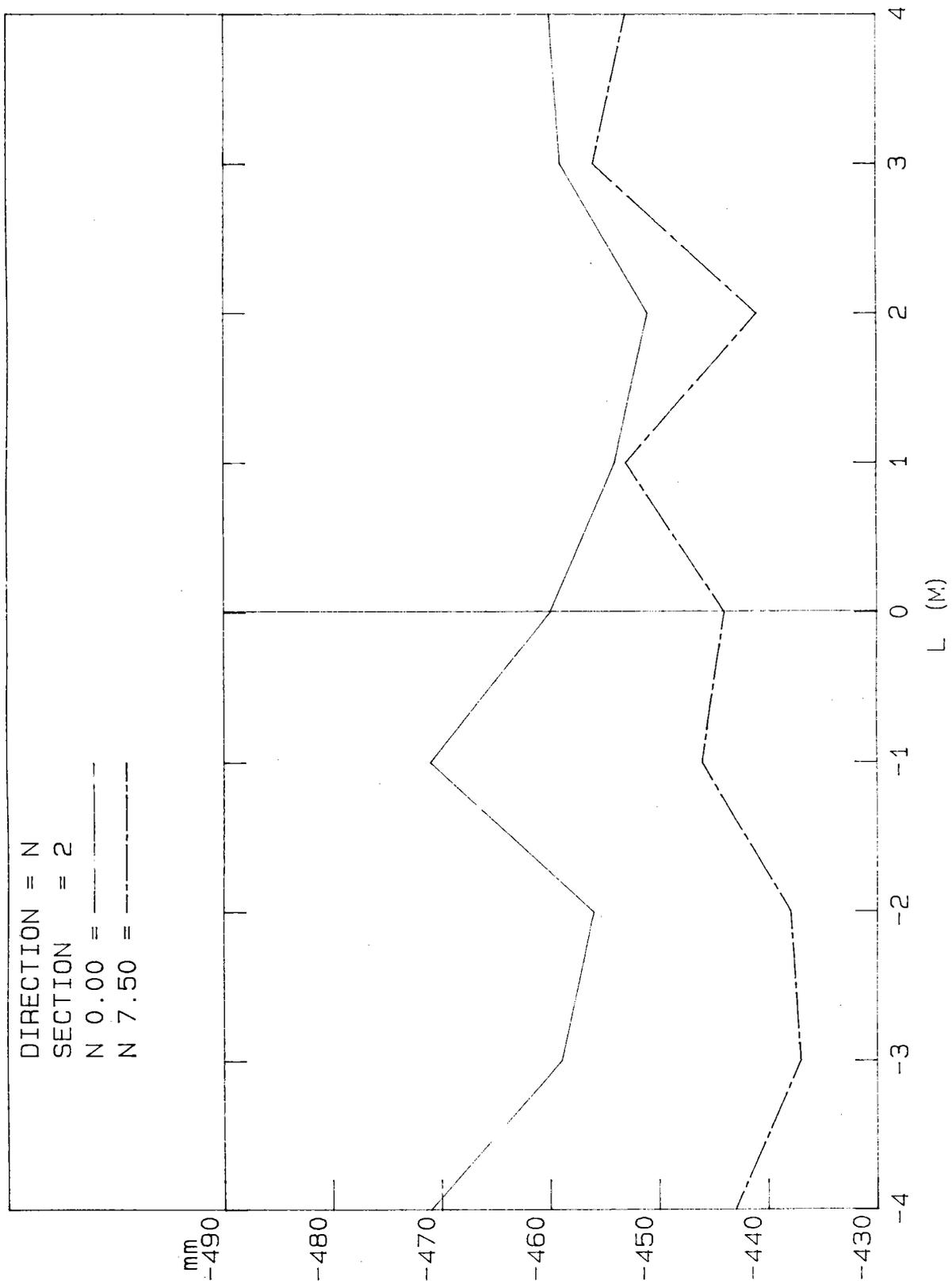


圖 4-6 N 方向斷面 2 累積造波後地形變化圖

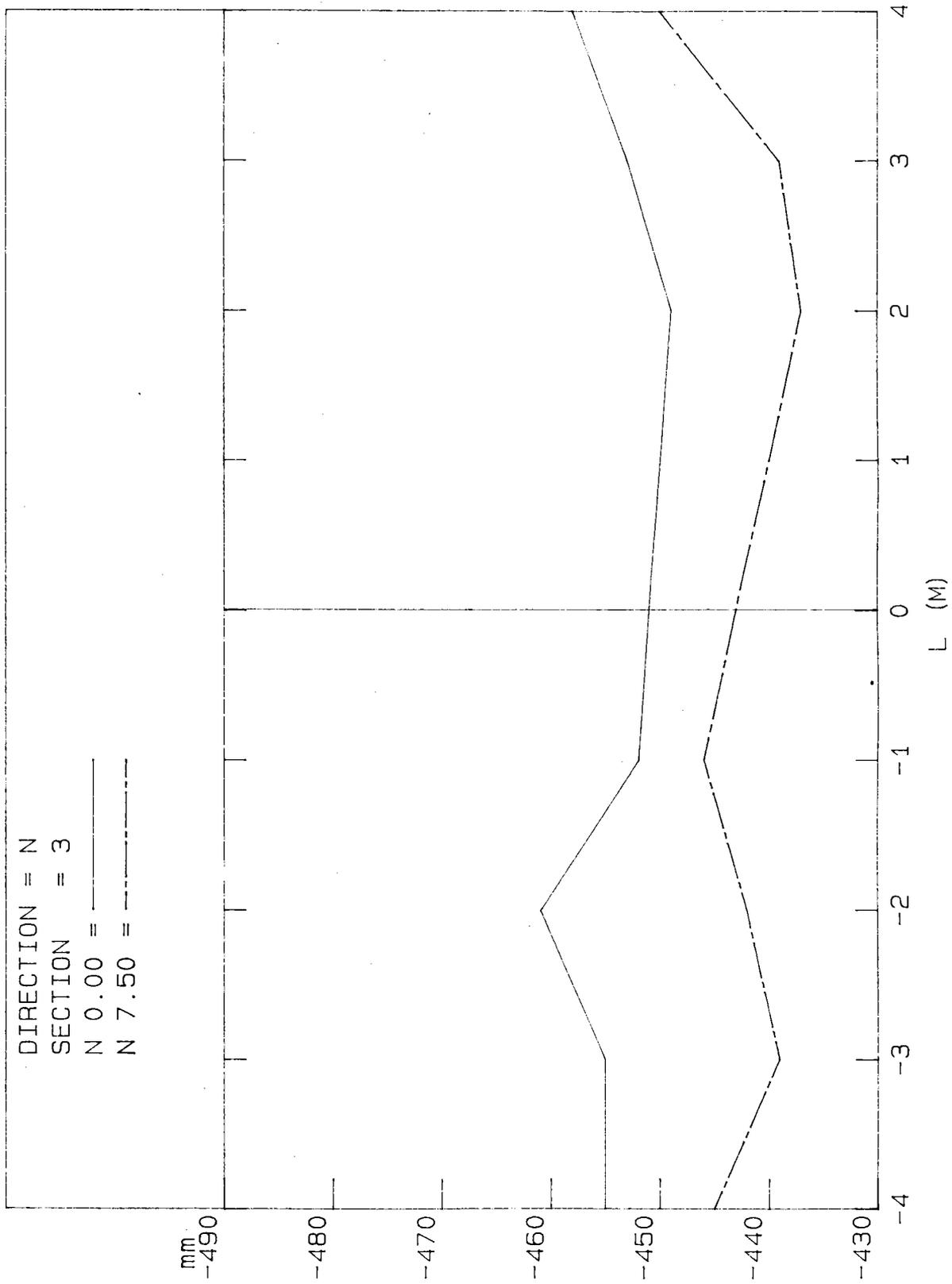


圖 4-7 N 方向斷面 3 累積造波後地形變化圖

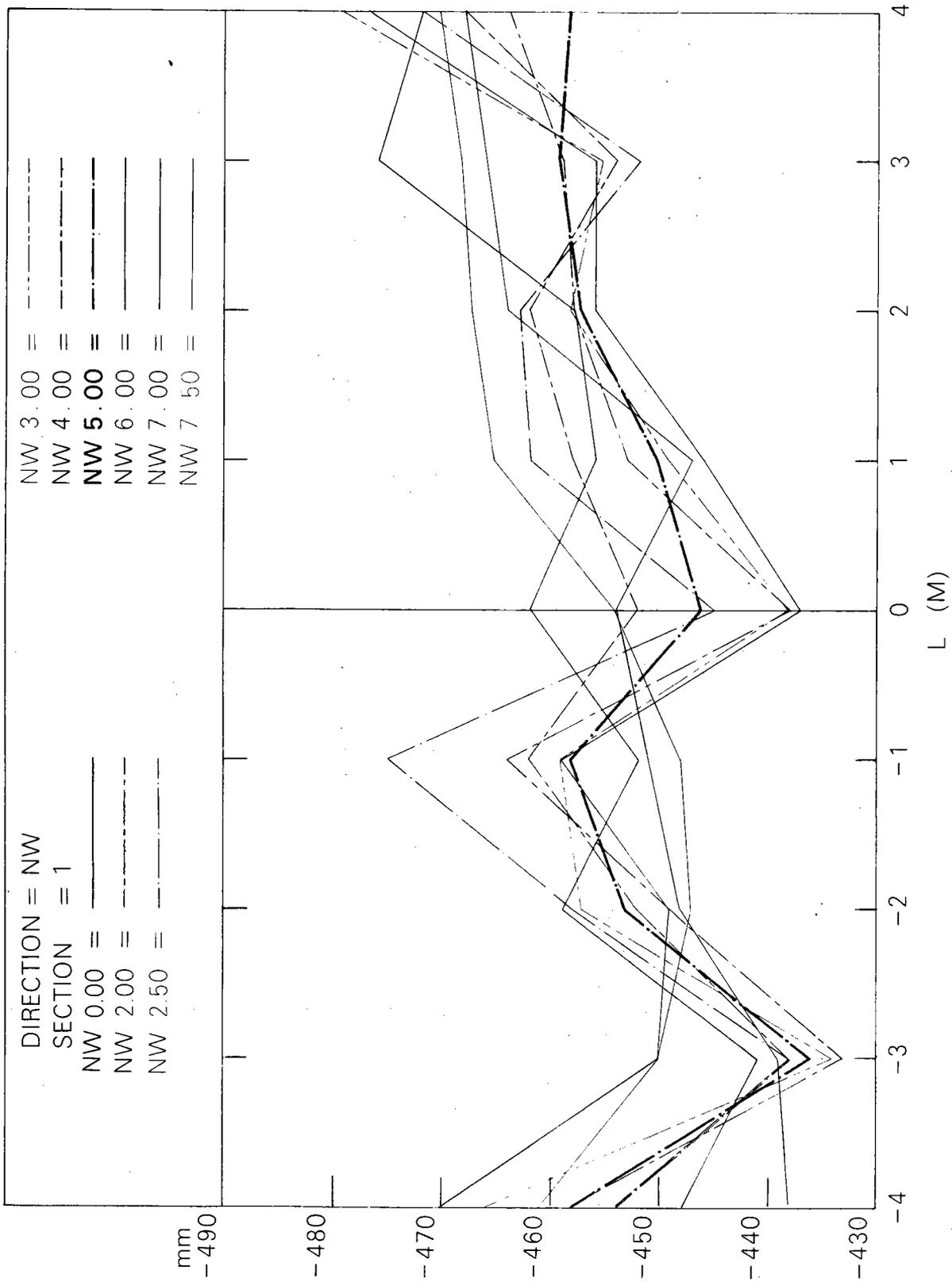


圖 4-8 NW 方向斷面 1 之地形變化圖

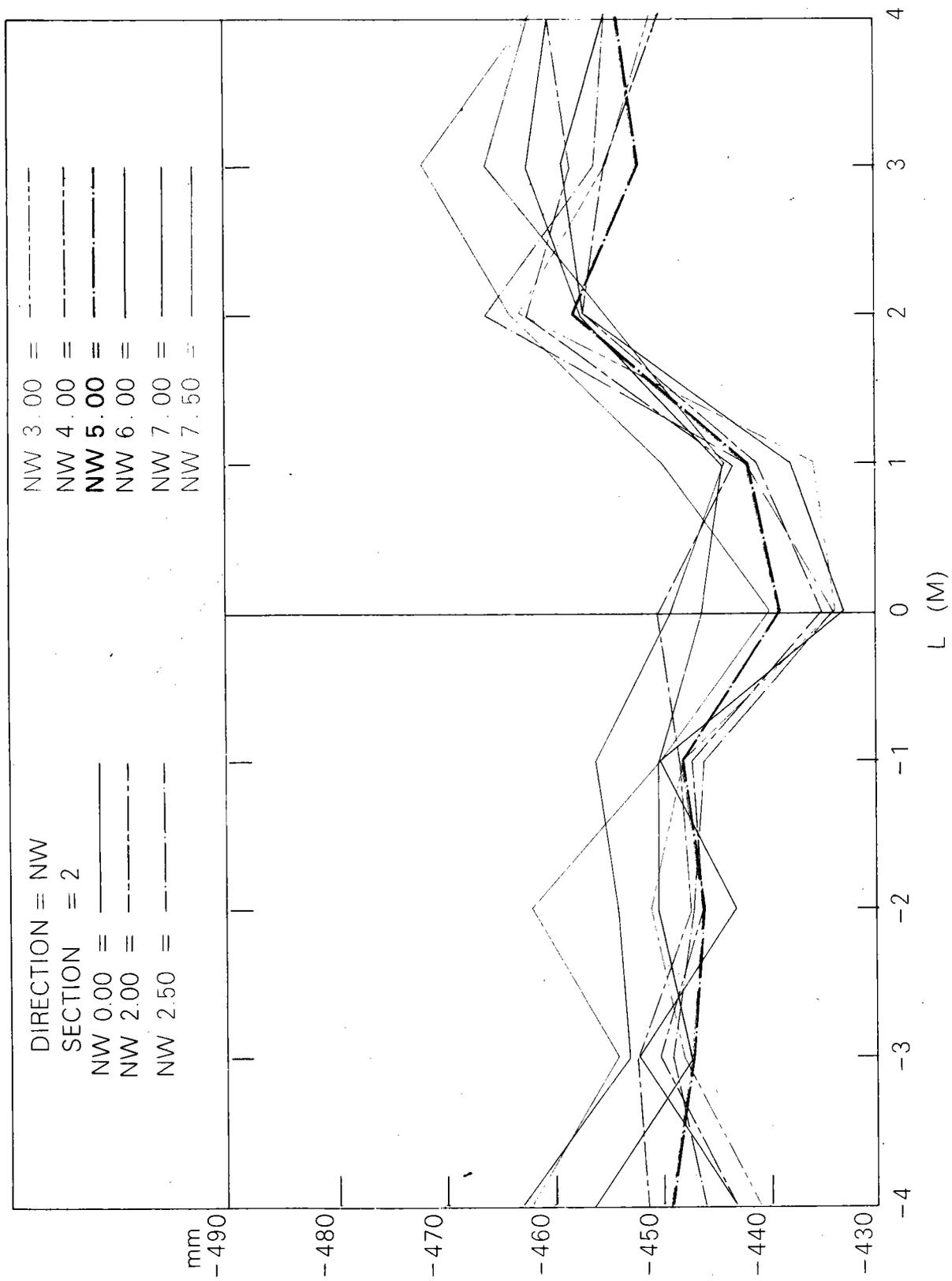


圖 4-9 NW 方向斷面 2 之地形變化圖

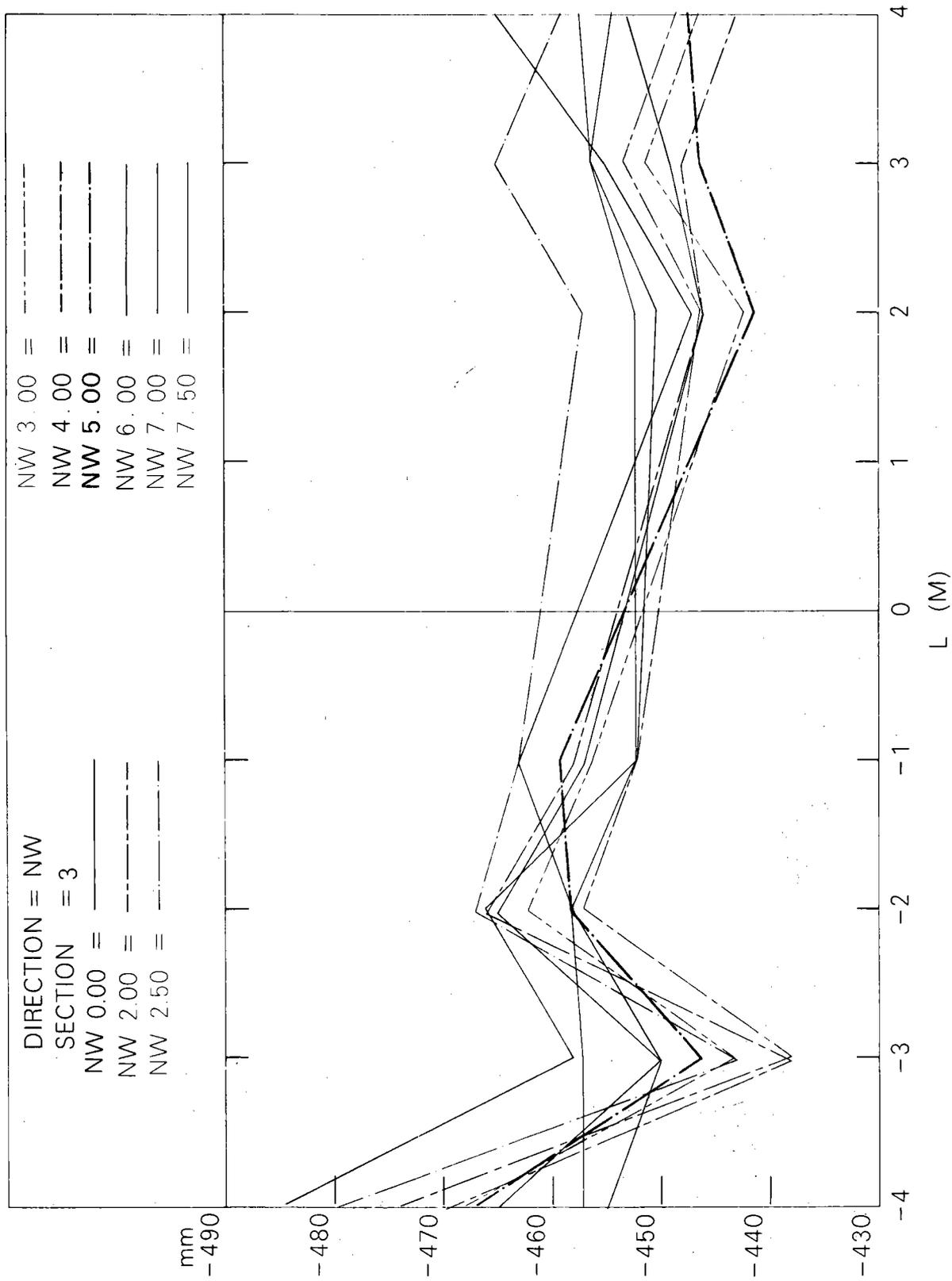


圖 4-10 NW 方向斷面 3 之地形變化圖

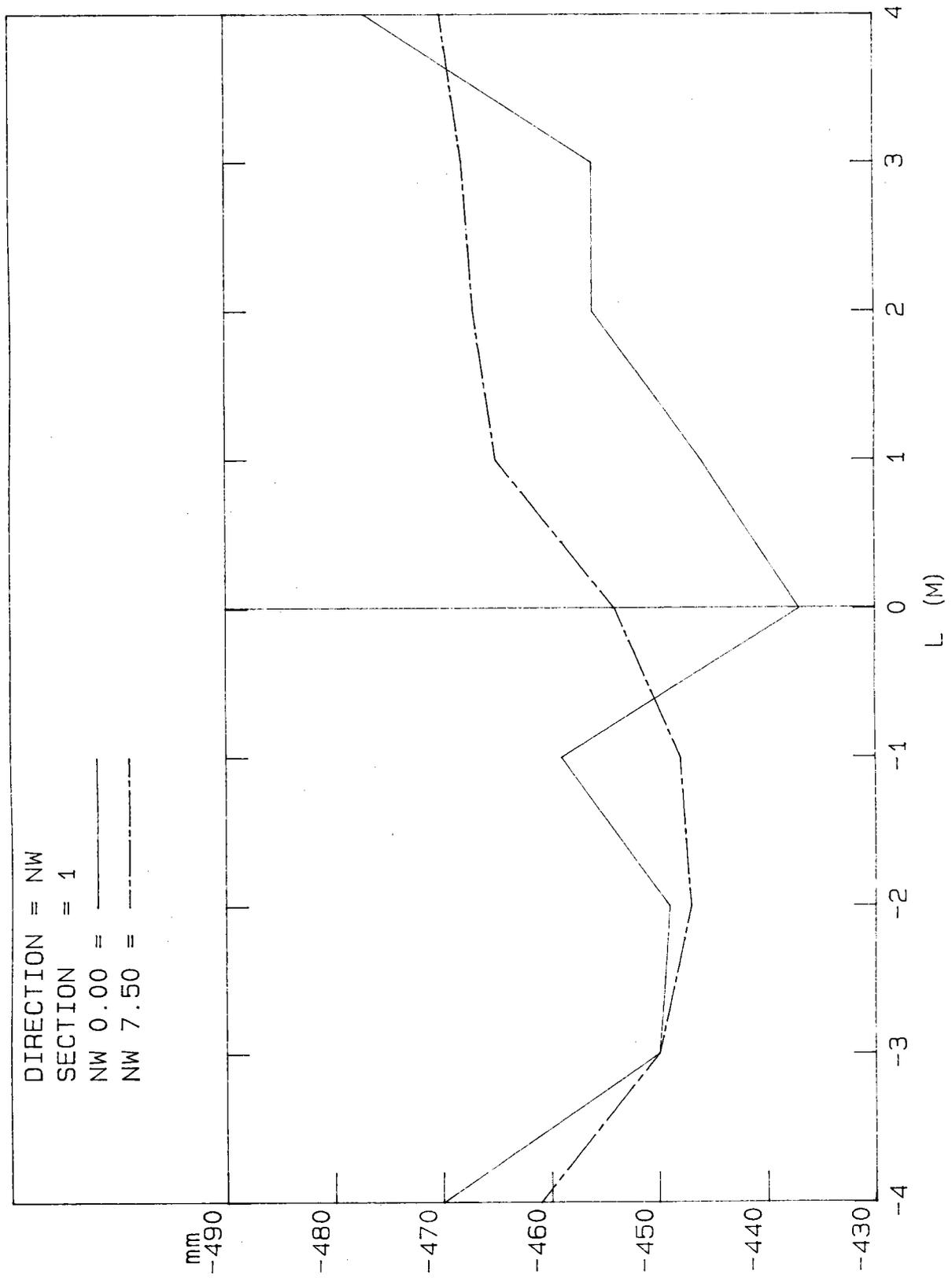


圖 4-11 NW 方向斷面 1 累積造波後地形變化圖

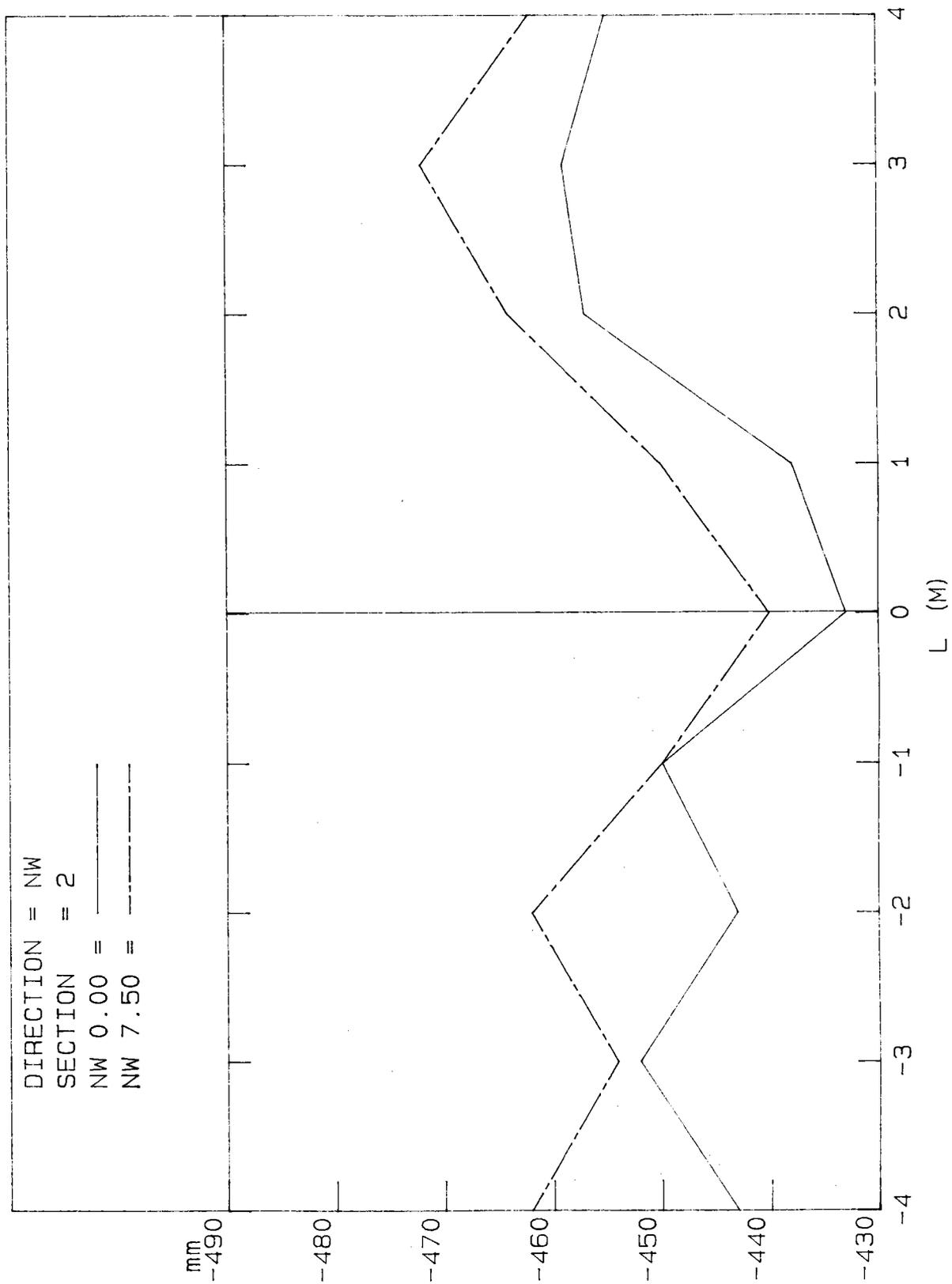


圖 4-12 NW 方向斷面 2 累積造波後地形變化圖

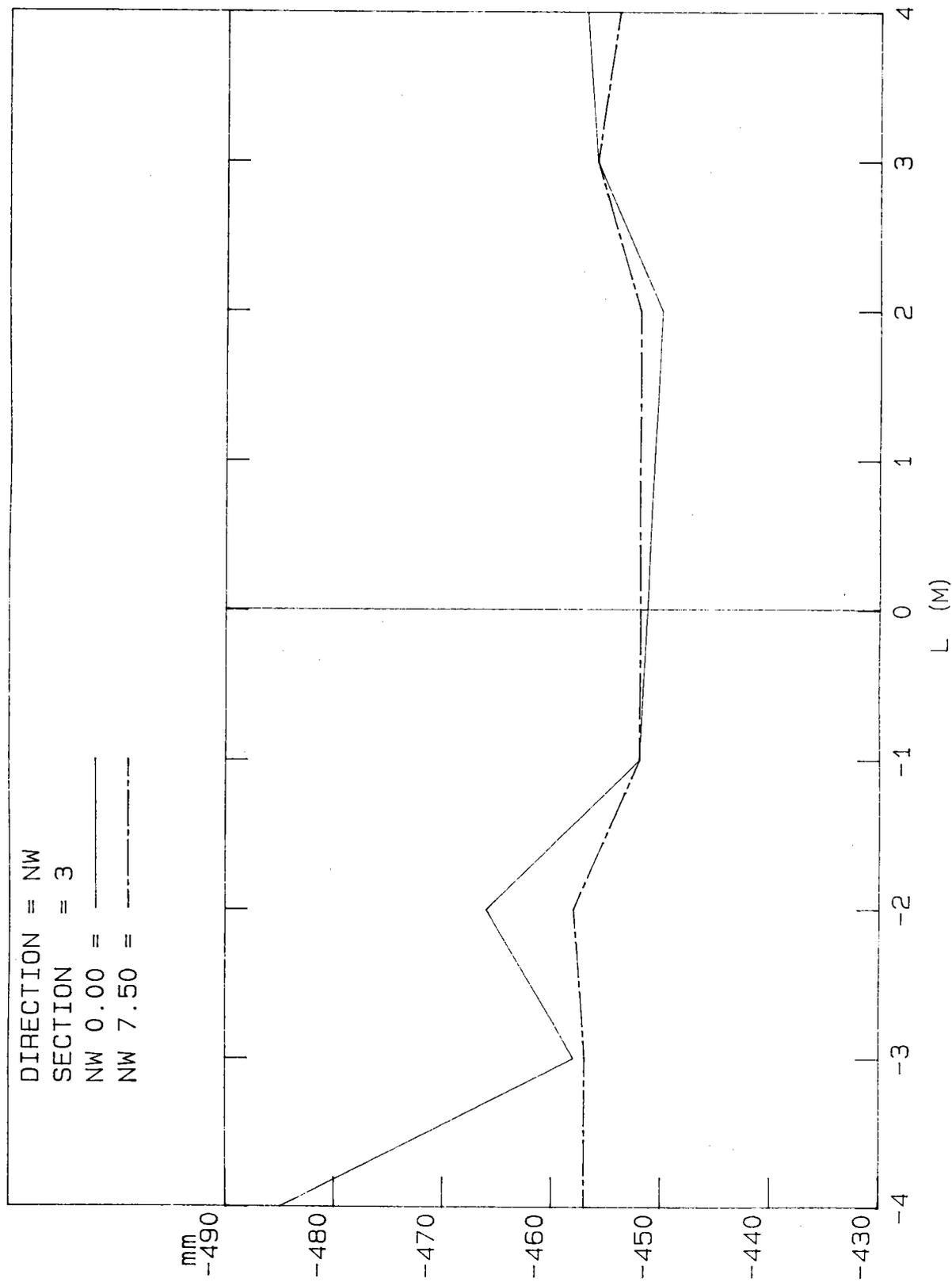


圖 4-13 NW 方向斷面 3 累積造波後地形變化圖

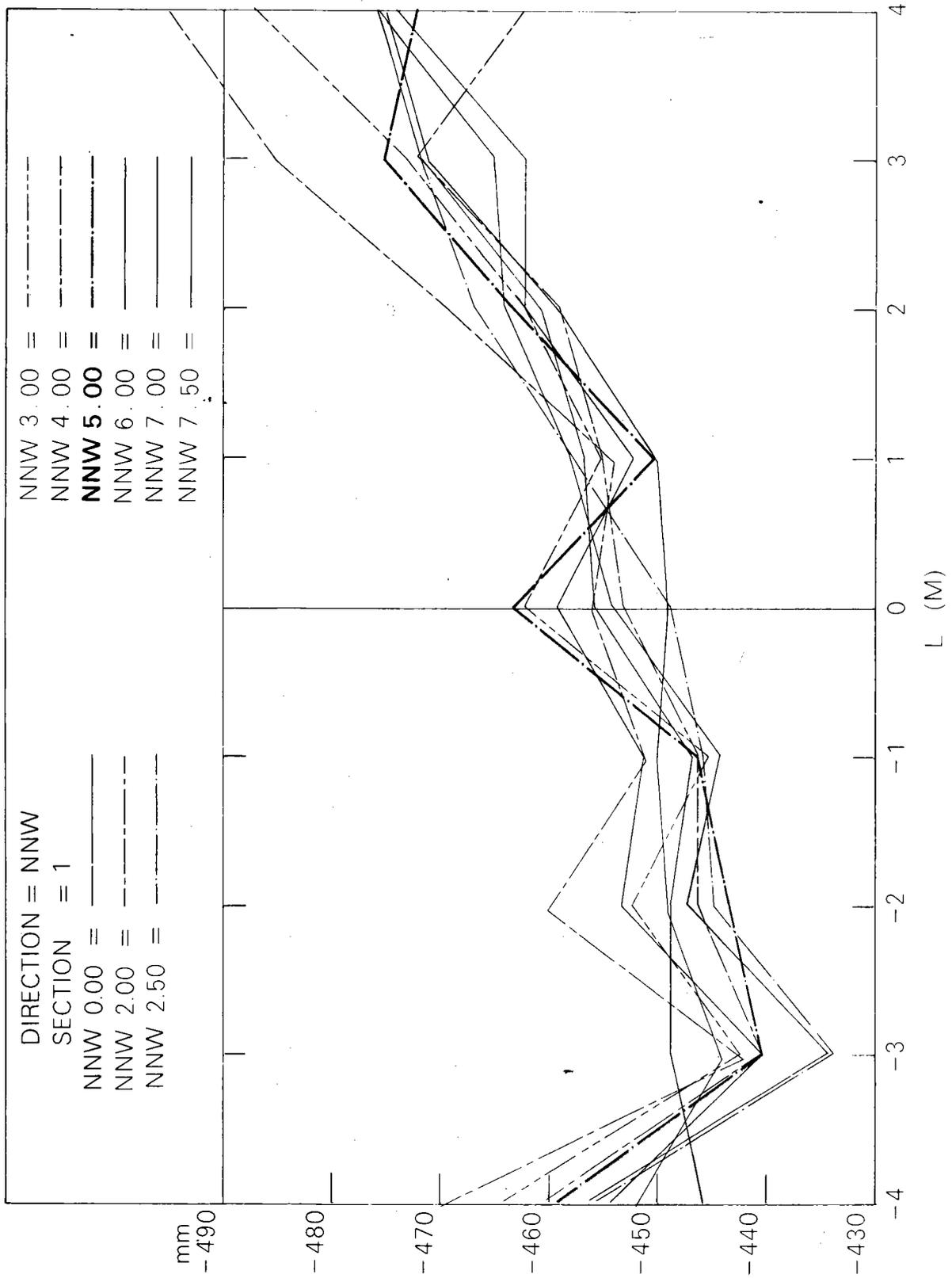


圖 4-14 NNW 方向斷面 1 之地形變化圖

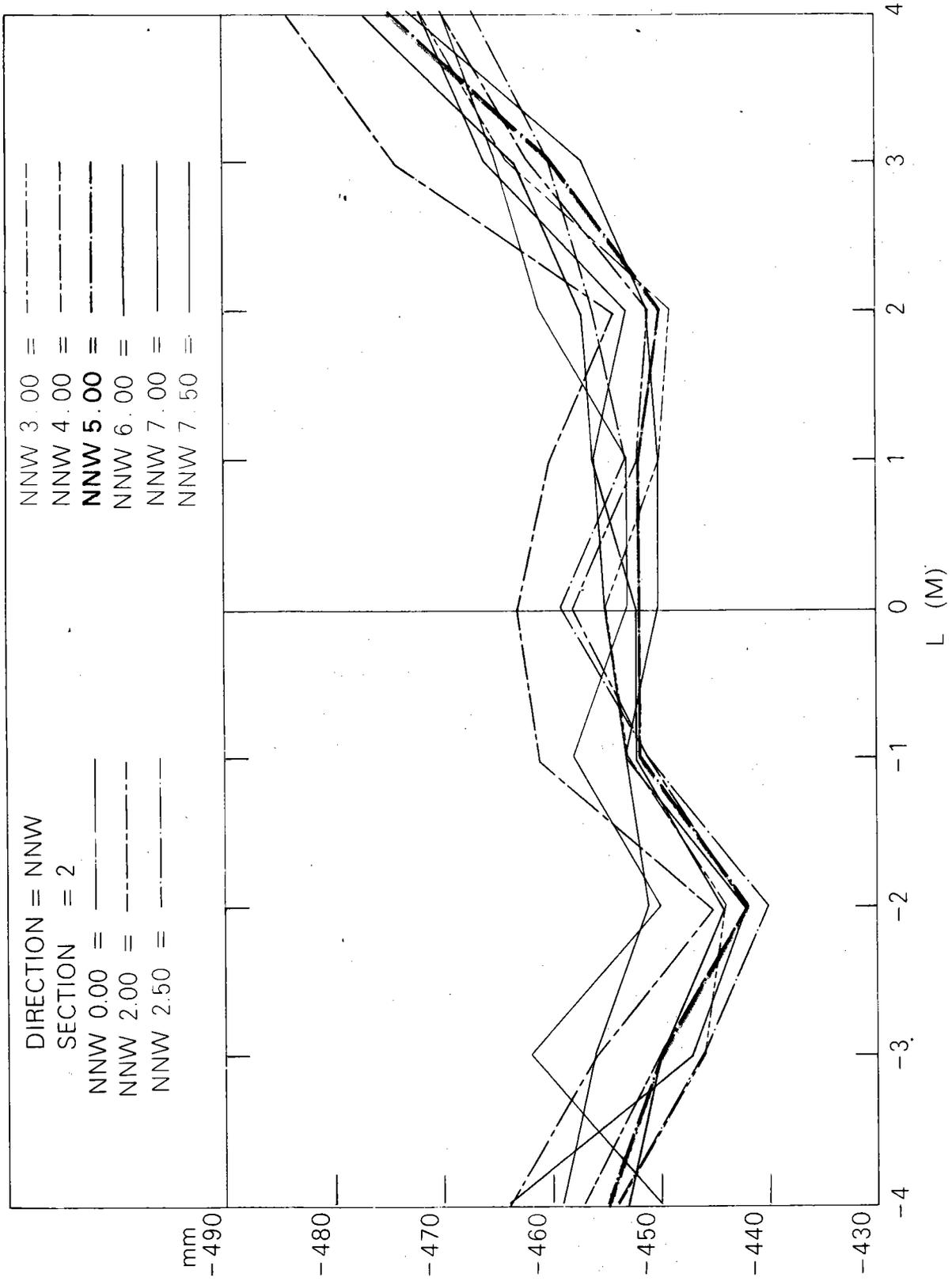


圖 4-15 NNW 方向斷面 2 之地形變化圖

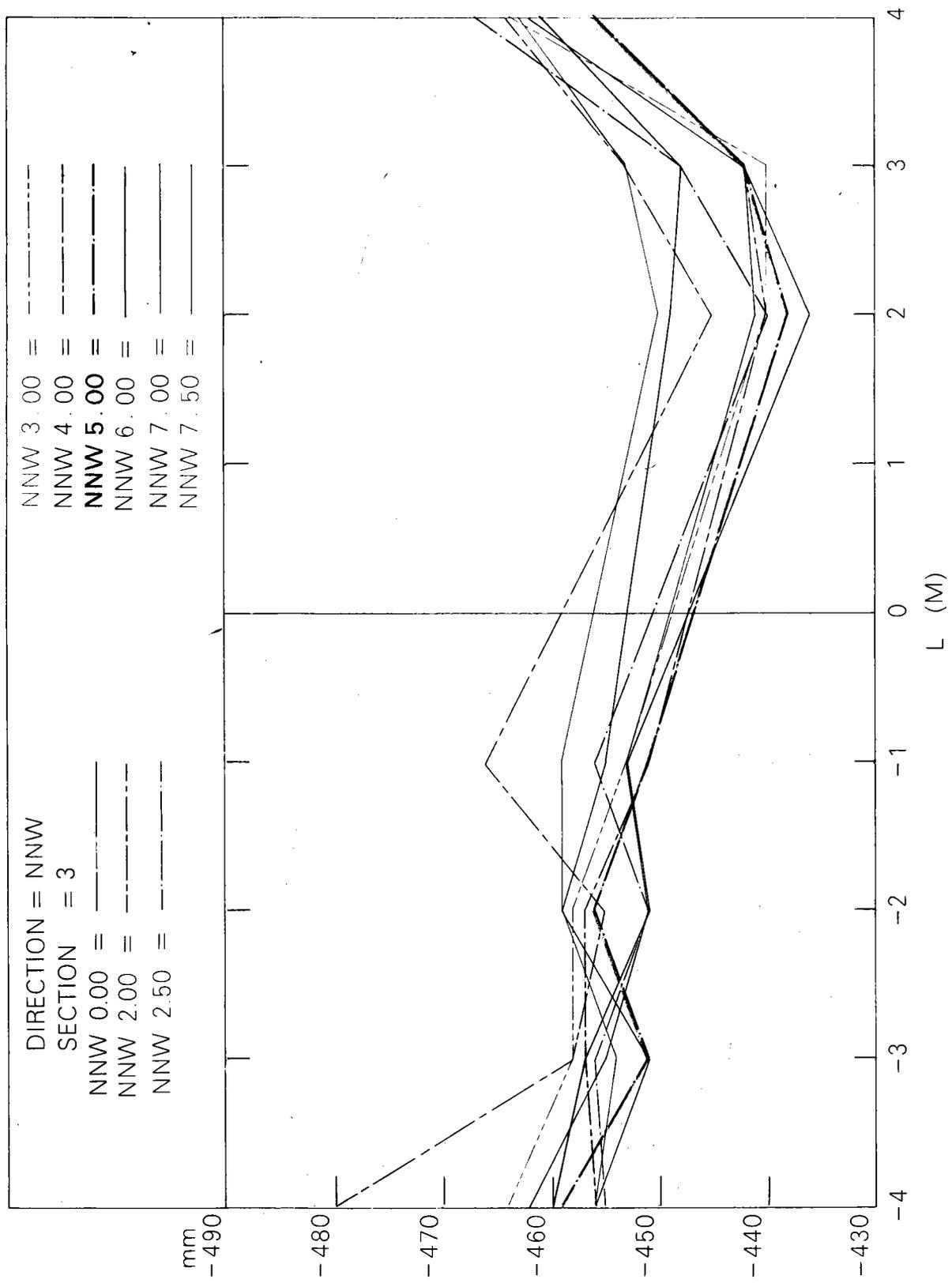


圖 4-16 NNW 方向斷面 3 之地形變化圖

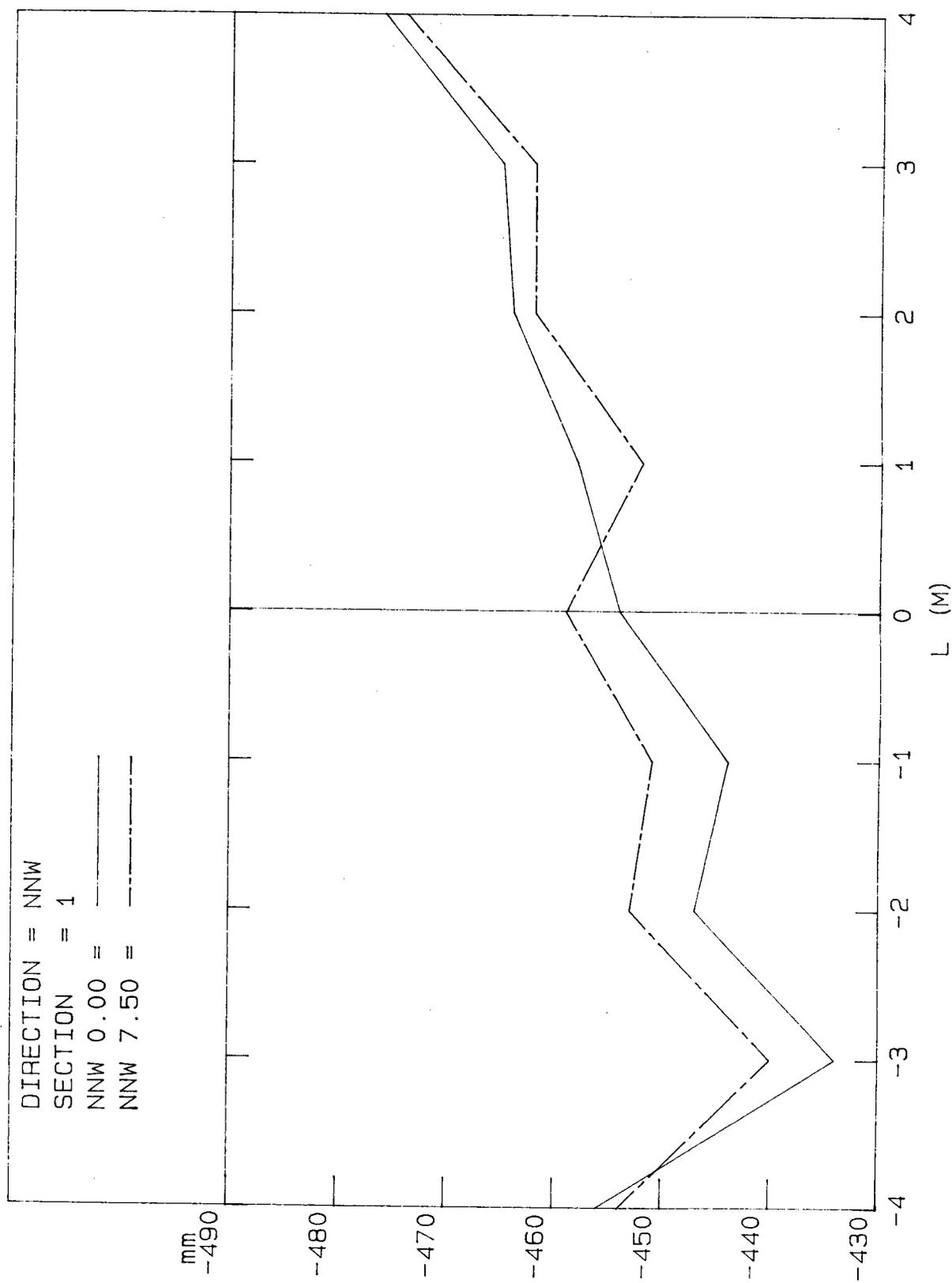


圖 4-17 NNW 方向斷面 1 累積造波後地形變化圖

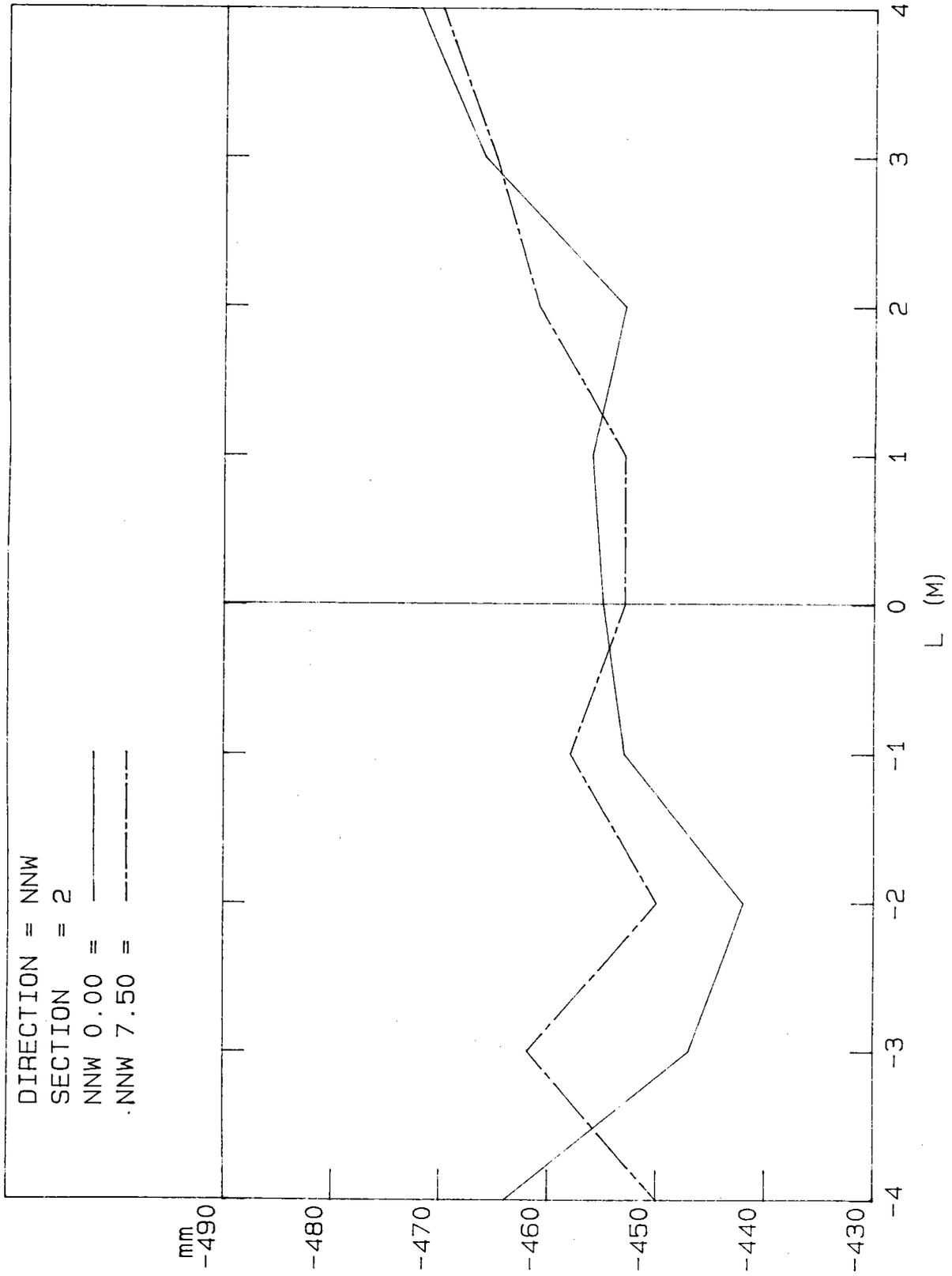


圖 4-18 NNW 方向斷面 2 累積造波後地形變化圖

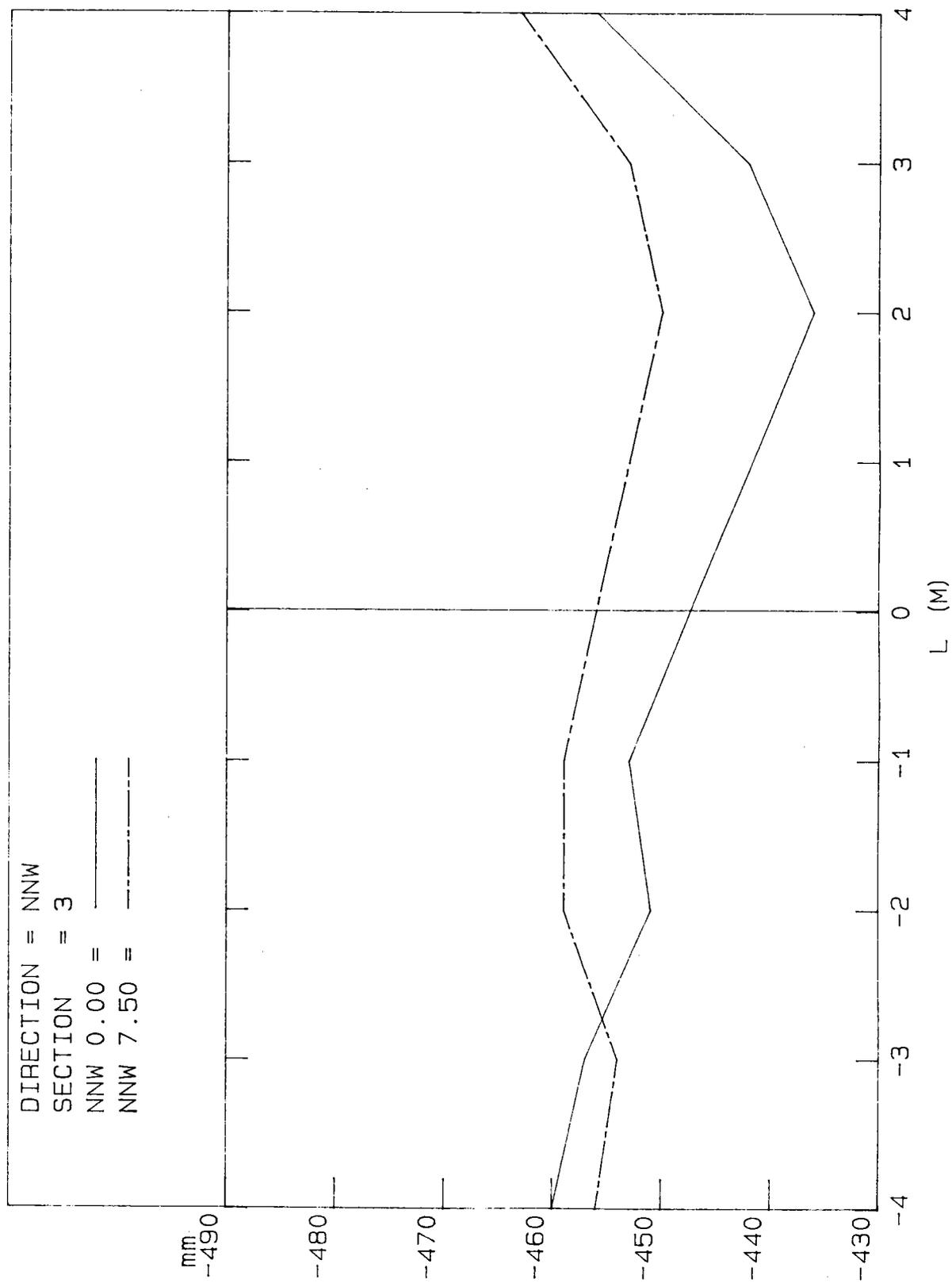
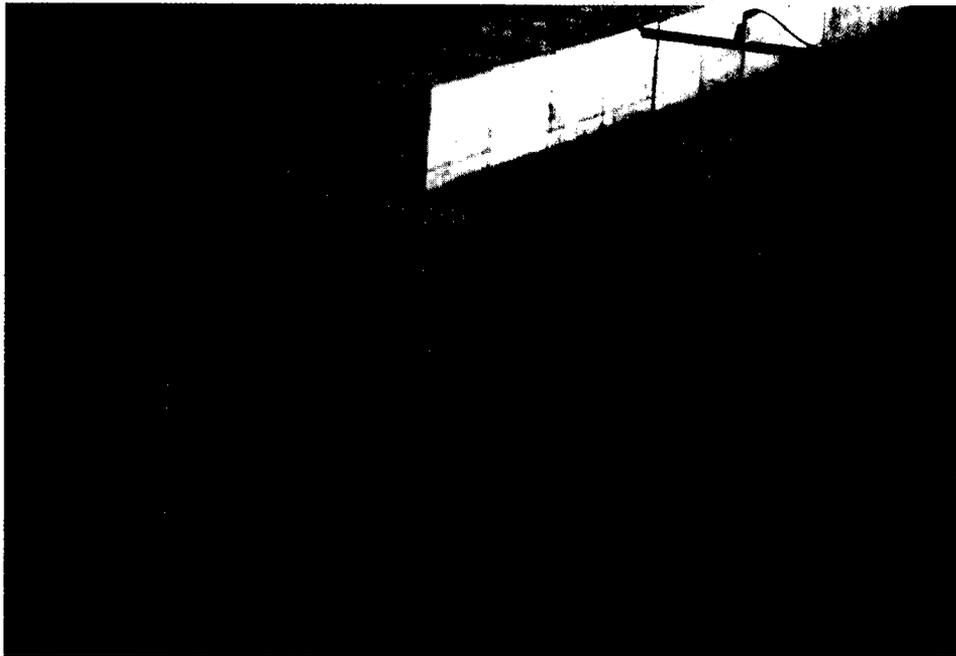
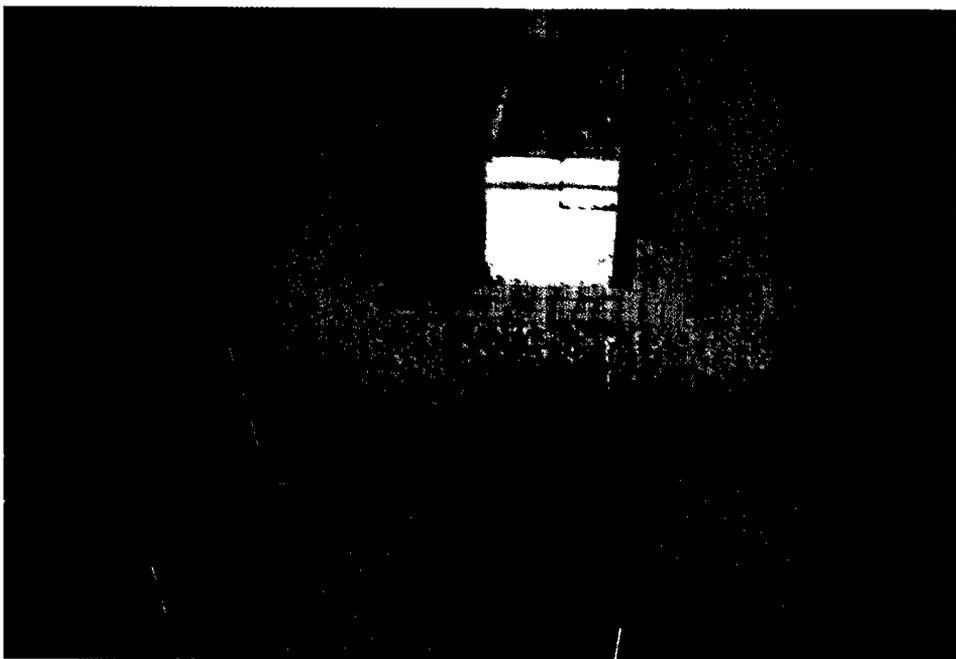


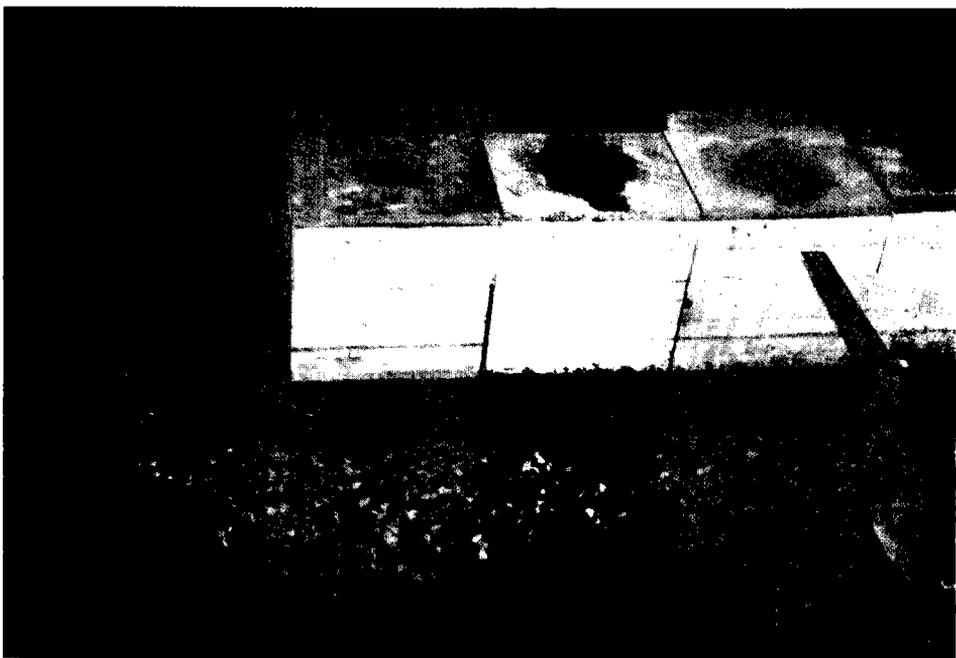
圖 4-19 NNW 方向斷面 3 累積造波後地形變化圖



照片 4-1



照片 4-2



照片 4-3

附

録

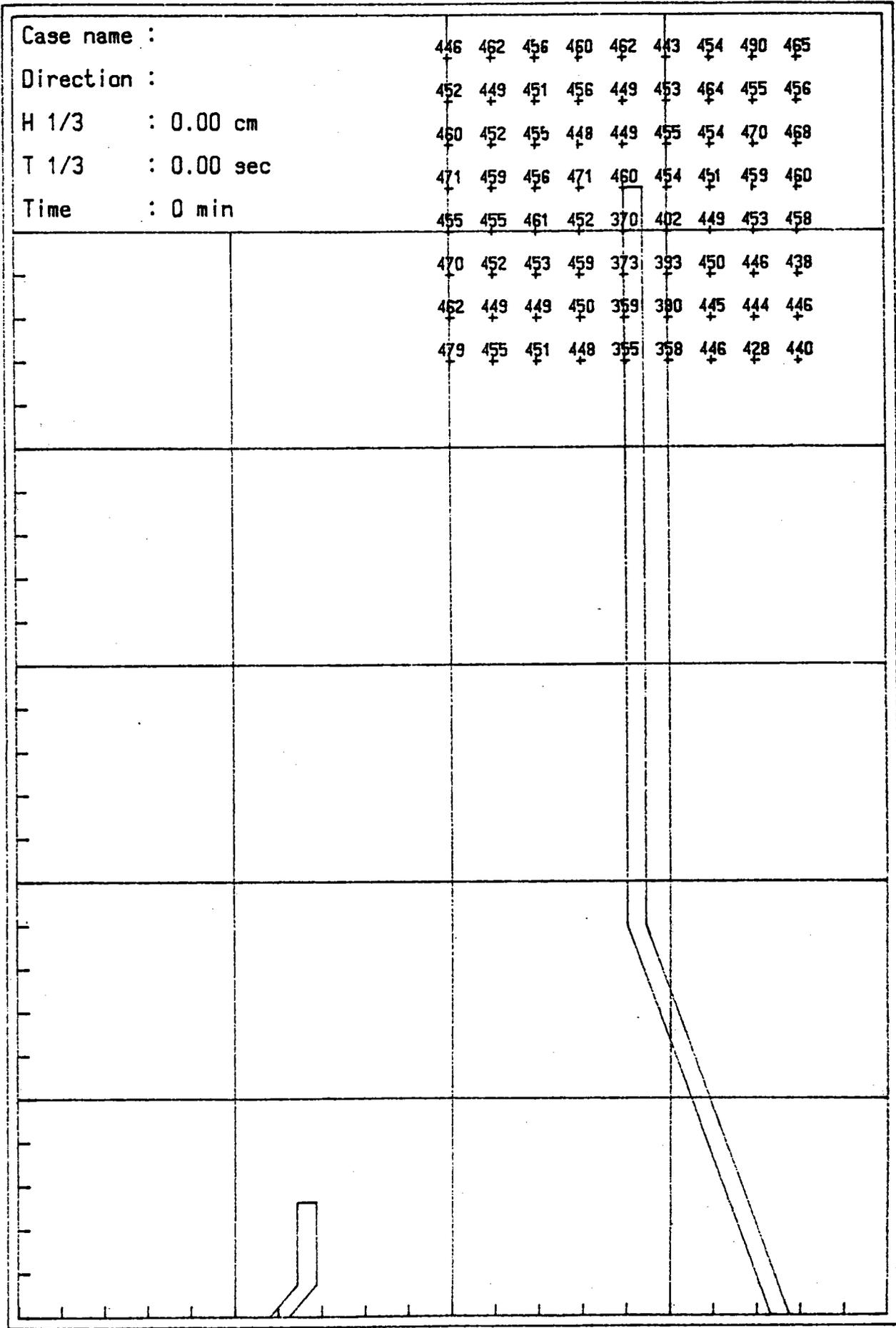


圖 A-1

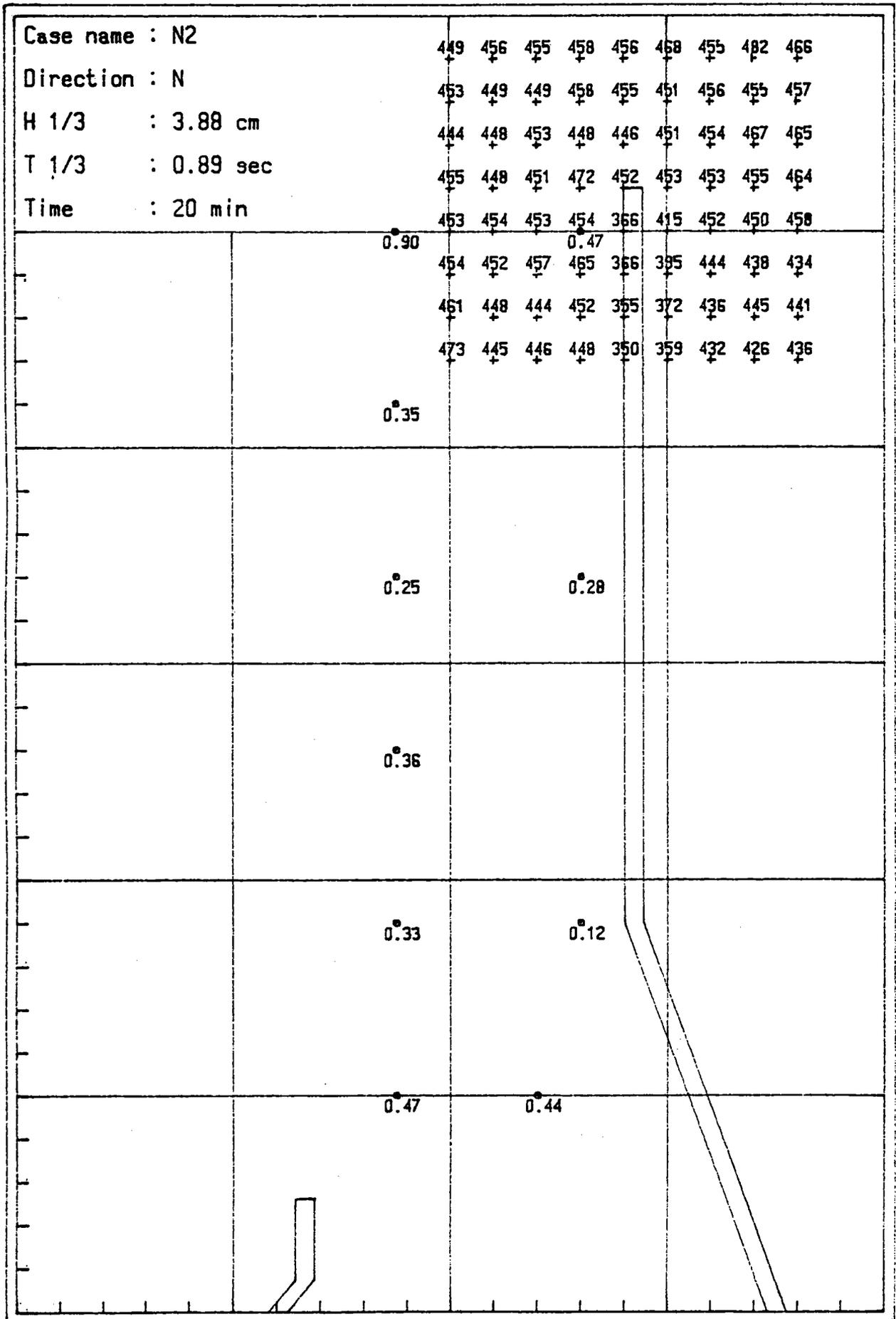


圖 A-1

Case name : N2.5

Direction : N

H 1/3 : 4.69 cm

T 1/3 : 0.91 sec.

Time : 40 min

441 461 452 457 452 447 451 477 463

455 442 449 453 447 450 456 449 454

447 448 452 446 448 447 454 466 464

451 448 449 462 455 454 448 460 460

453 448 454 451 372 410 448 452 459

0.94

0.54

468 455 455 458 365 382 445 439 439

461 448 445 450 365 371 435 443 445

474 448 446 449 353 358 437 430 439

0.46

0.32

0.39

0.43

0.47

0.37

0.48

0.54



圖 A-1

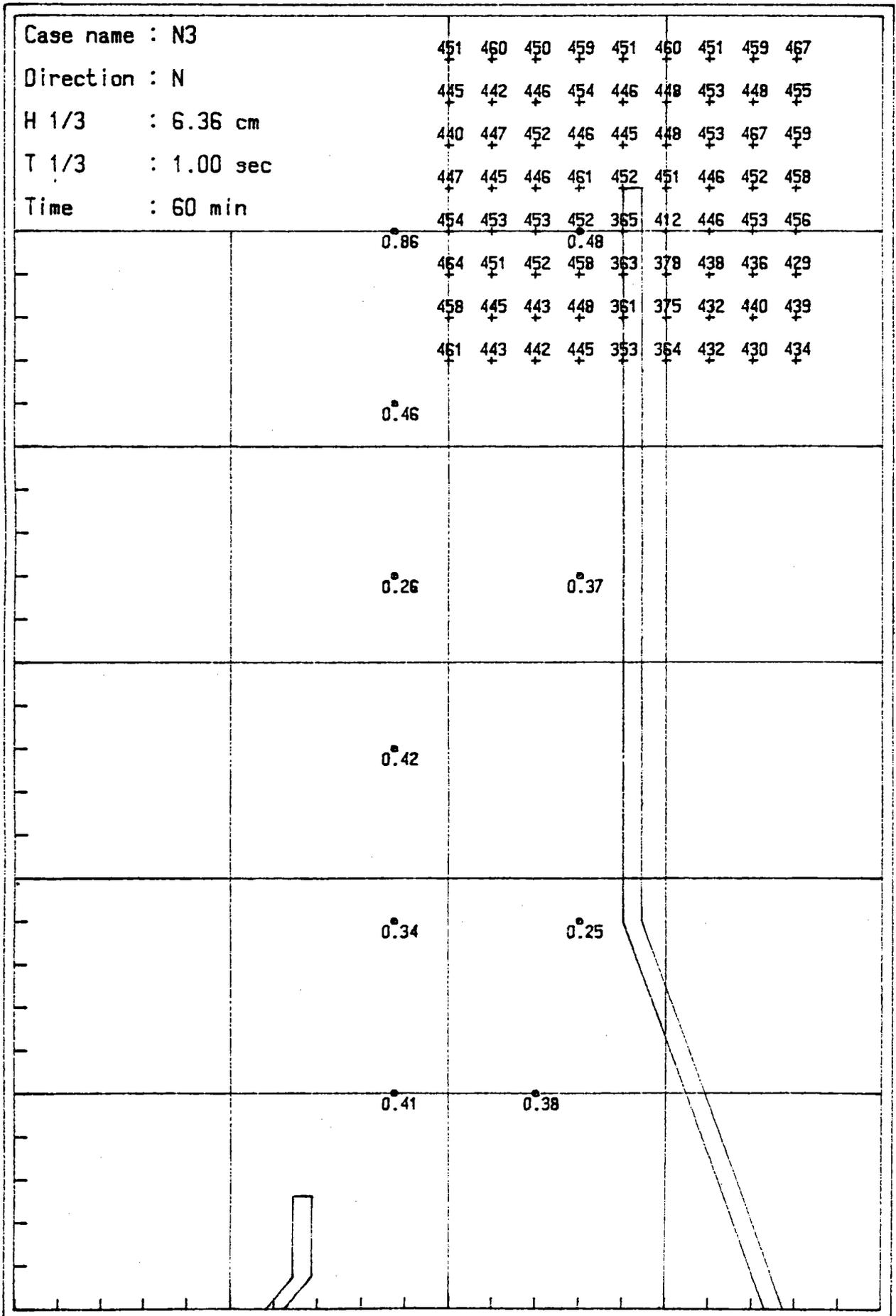


圖 A-1

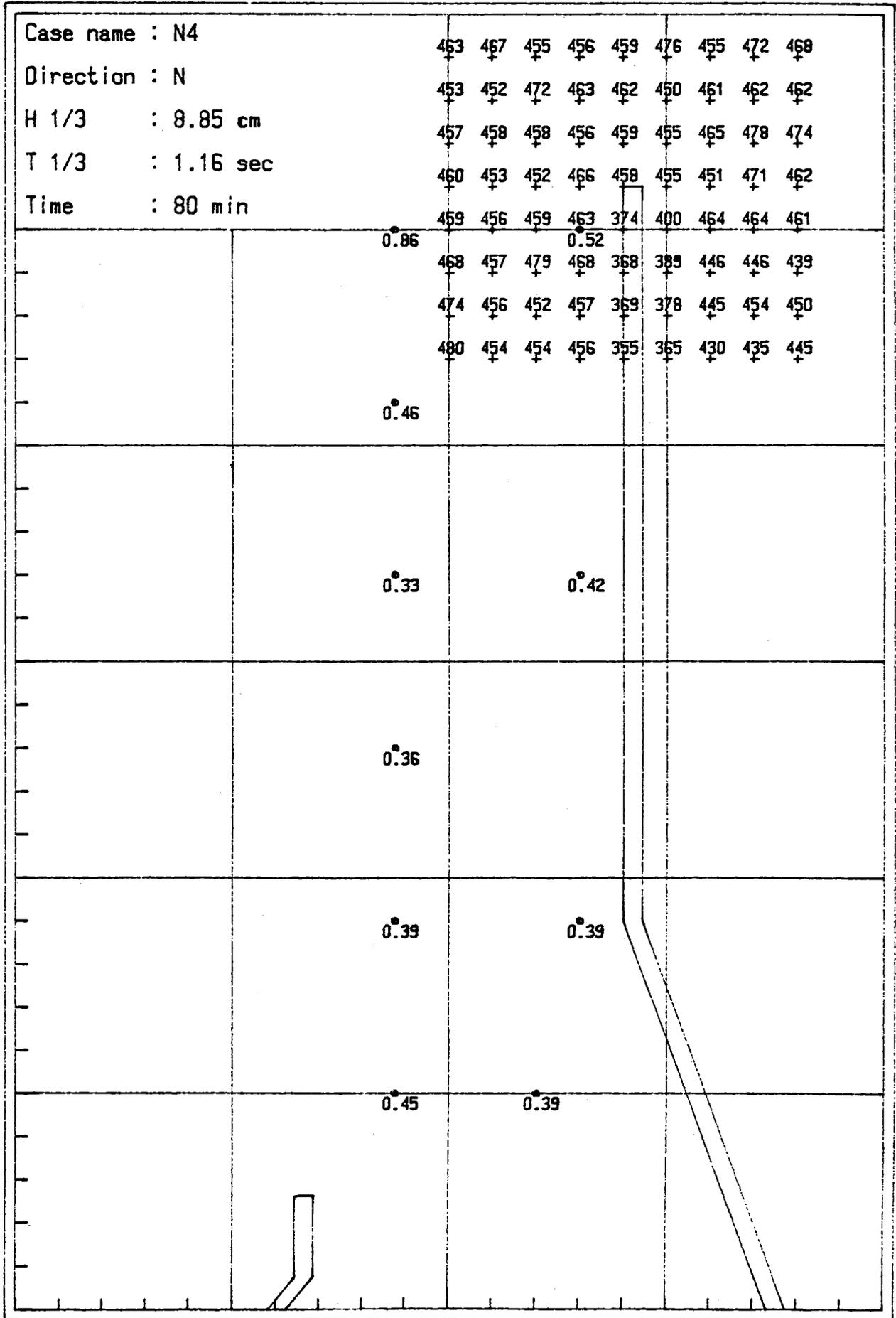


圖 A-1

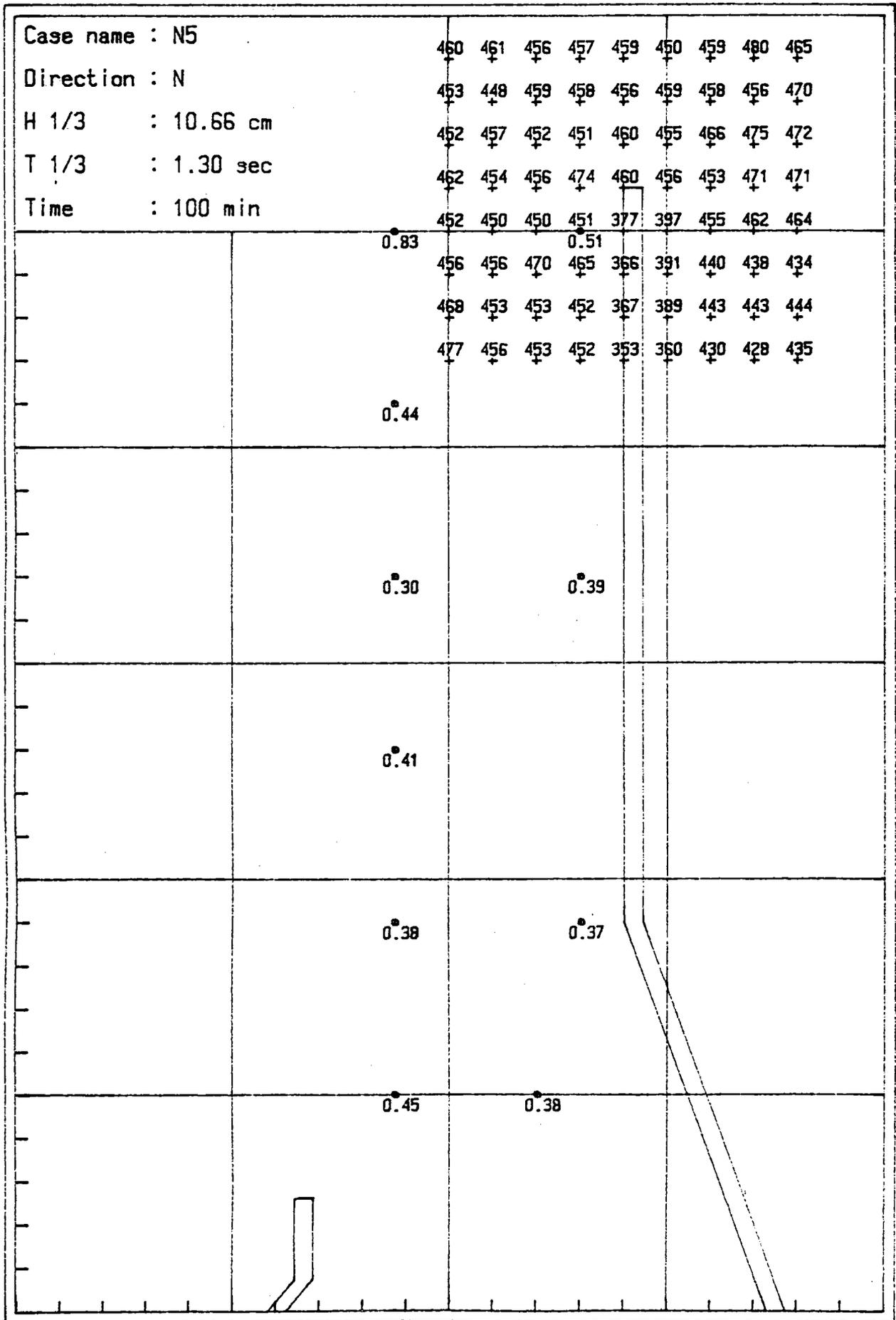


圖 A-1

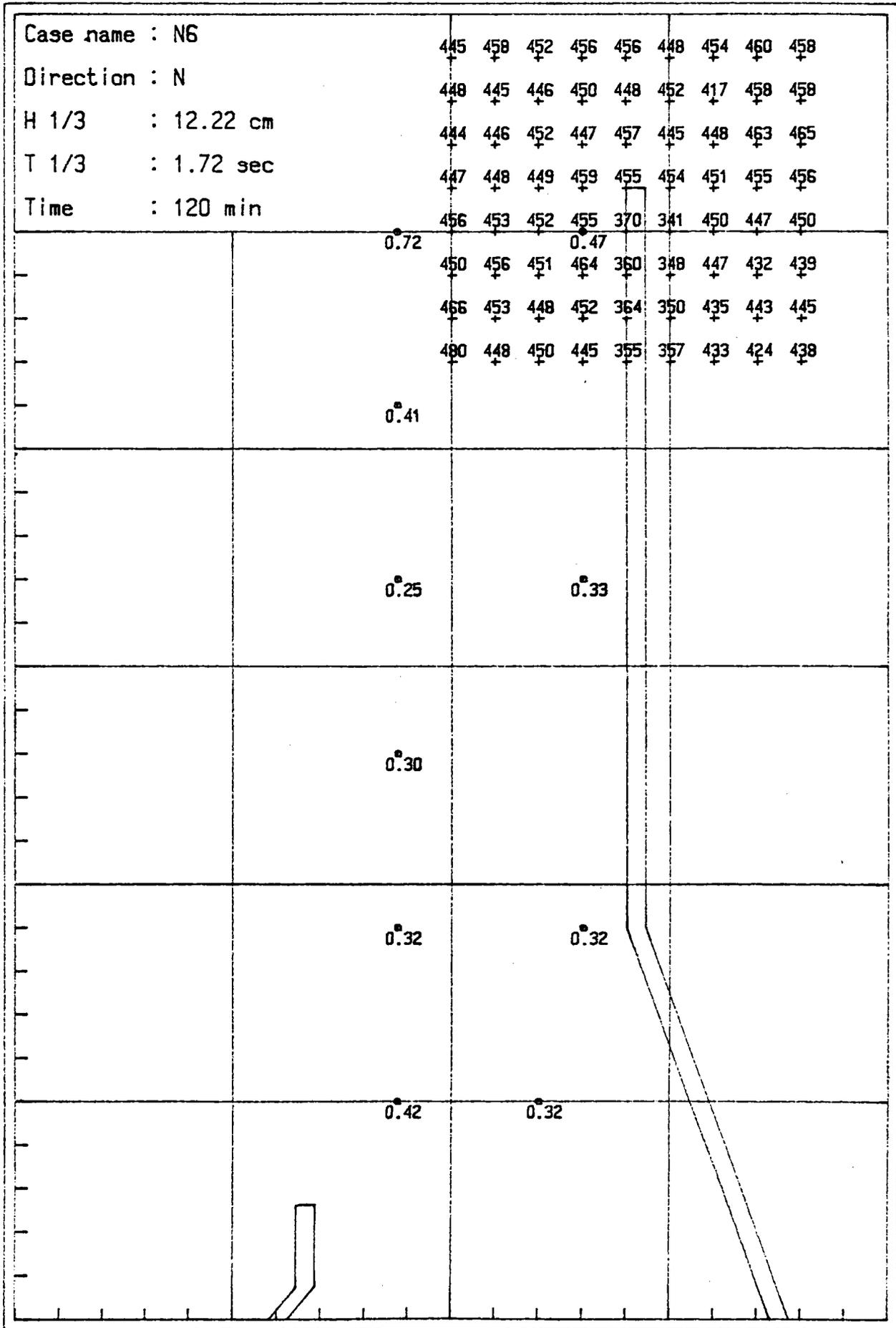


圖 A-1

Case name : N7

Direction : N

H 1/3 : 14.20 cm

T 1/3 : 1.79 sec

Time : 140 min

454	459	457	460	453	451	457	453	461
455	446	447	453	448	451	457	456	458
461	443	454	451	446	455	456	466	467
465	464	450	455	451	456	450	446	452
449	453	444	454	376	397	448	445	455
450	452	459	464	300	369	442	436	438
470	454	449	450	300	378	444	440	442
474	455	454	453	354	360	443	434	442

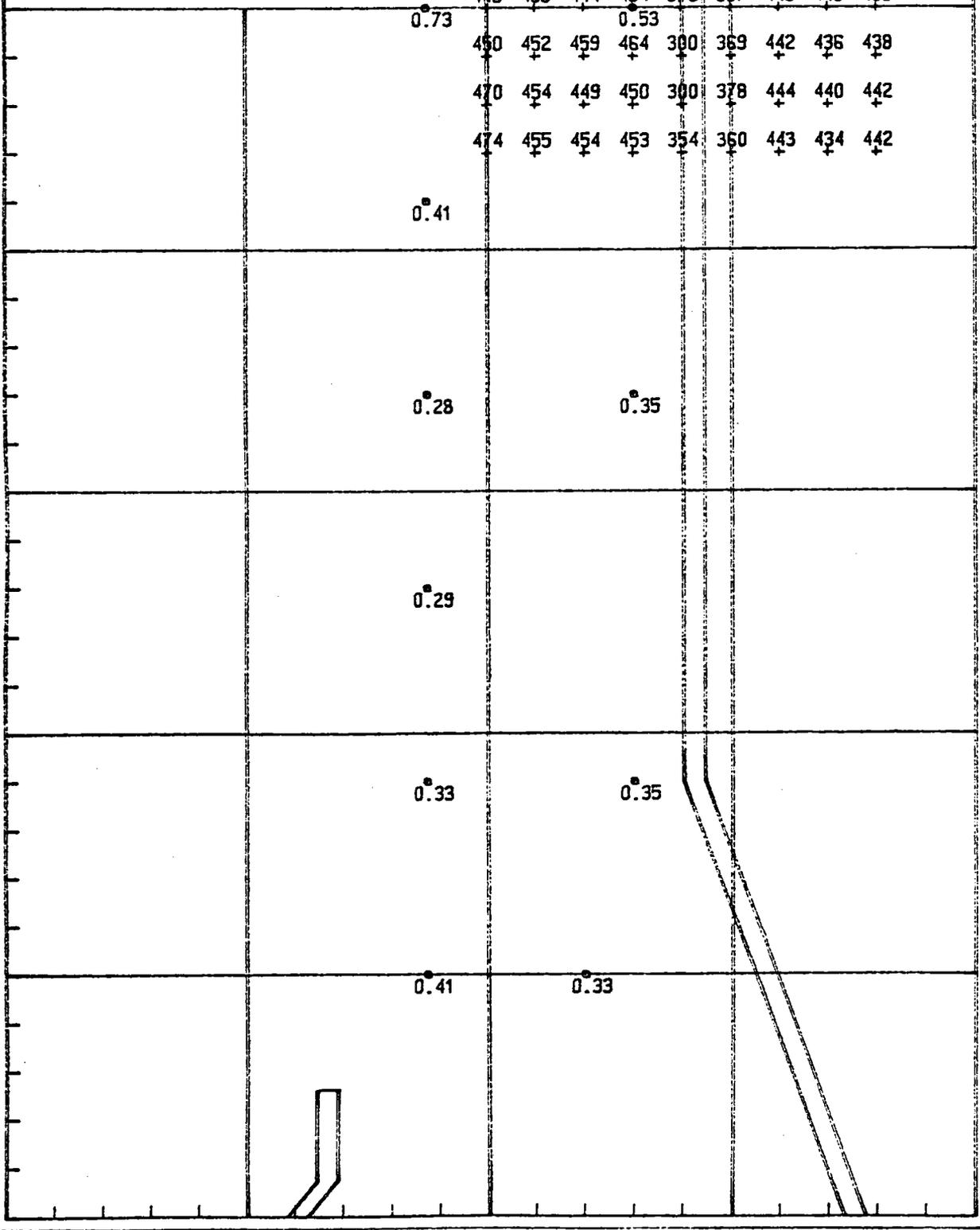


圖 A-1

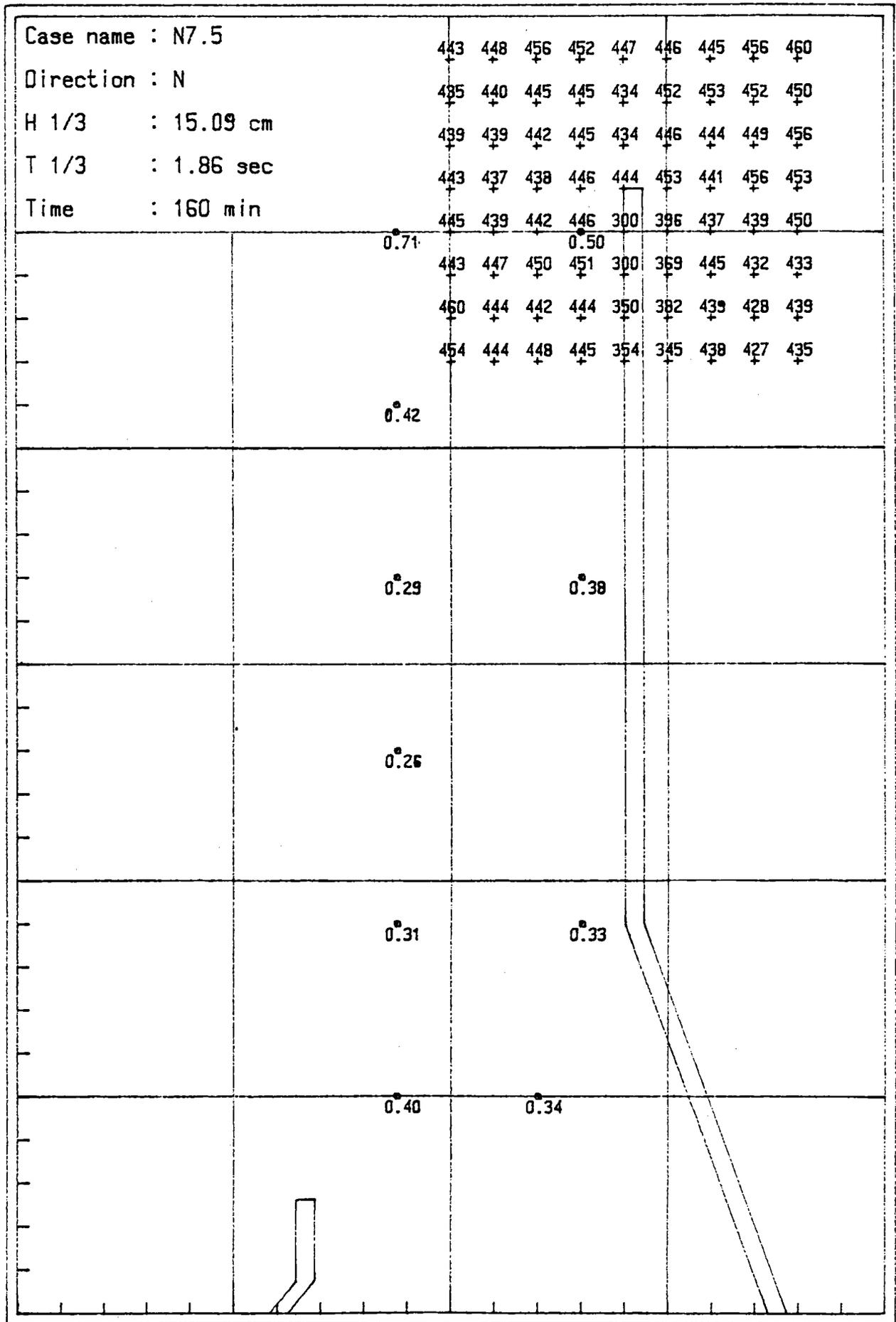


圖 A-1

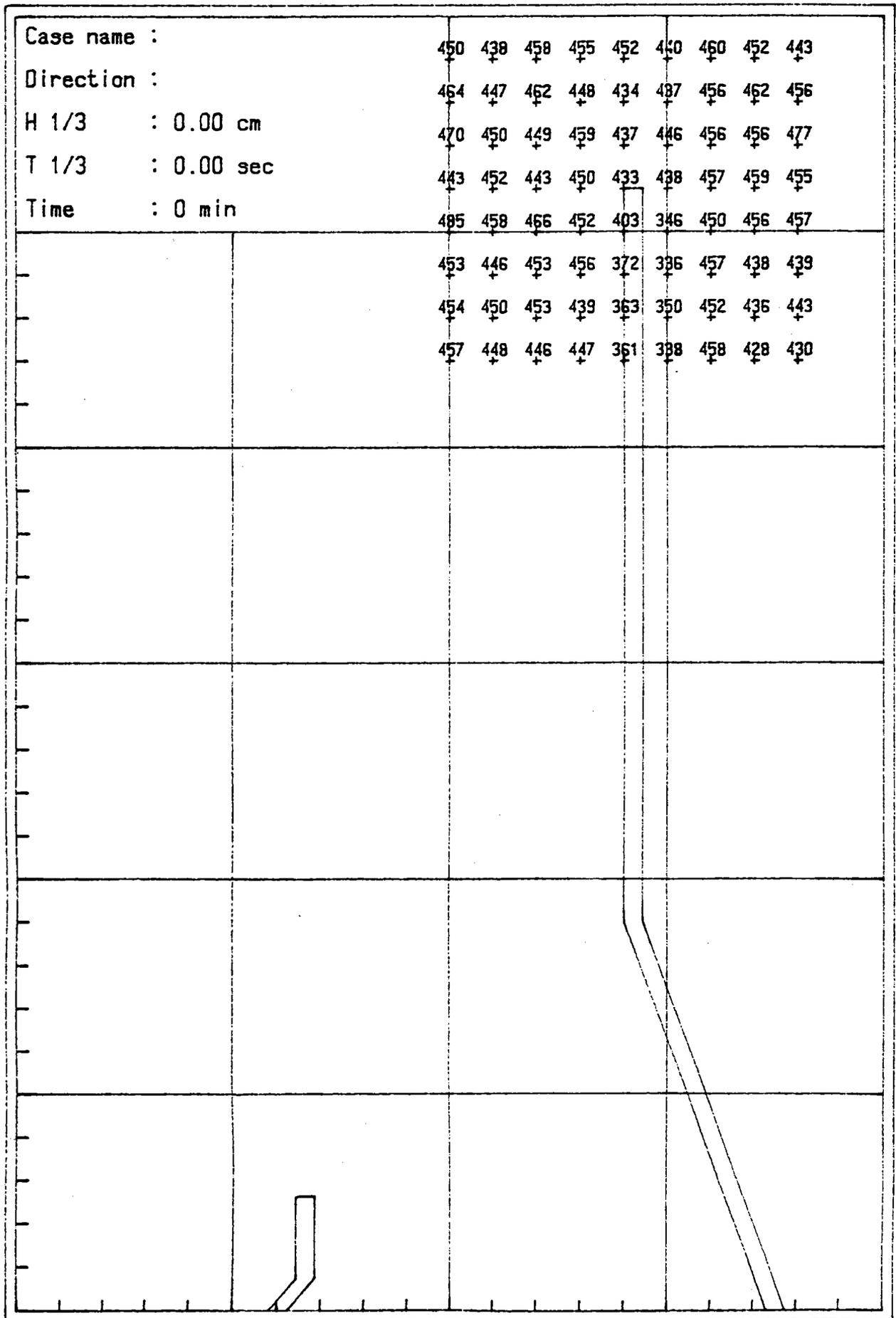


圖 A-2

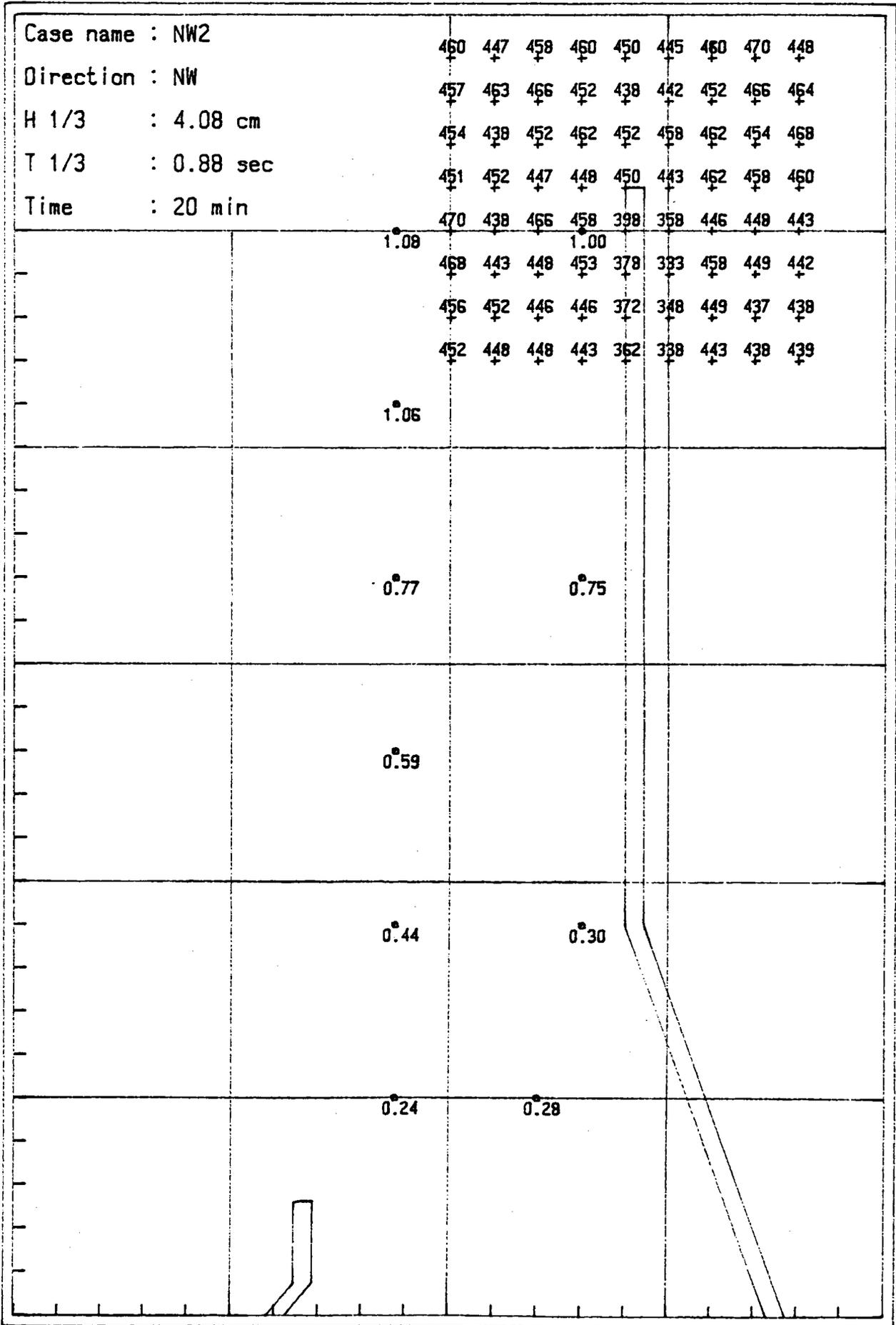


圖 A-2

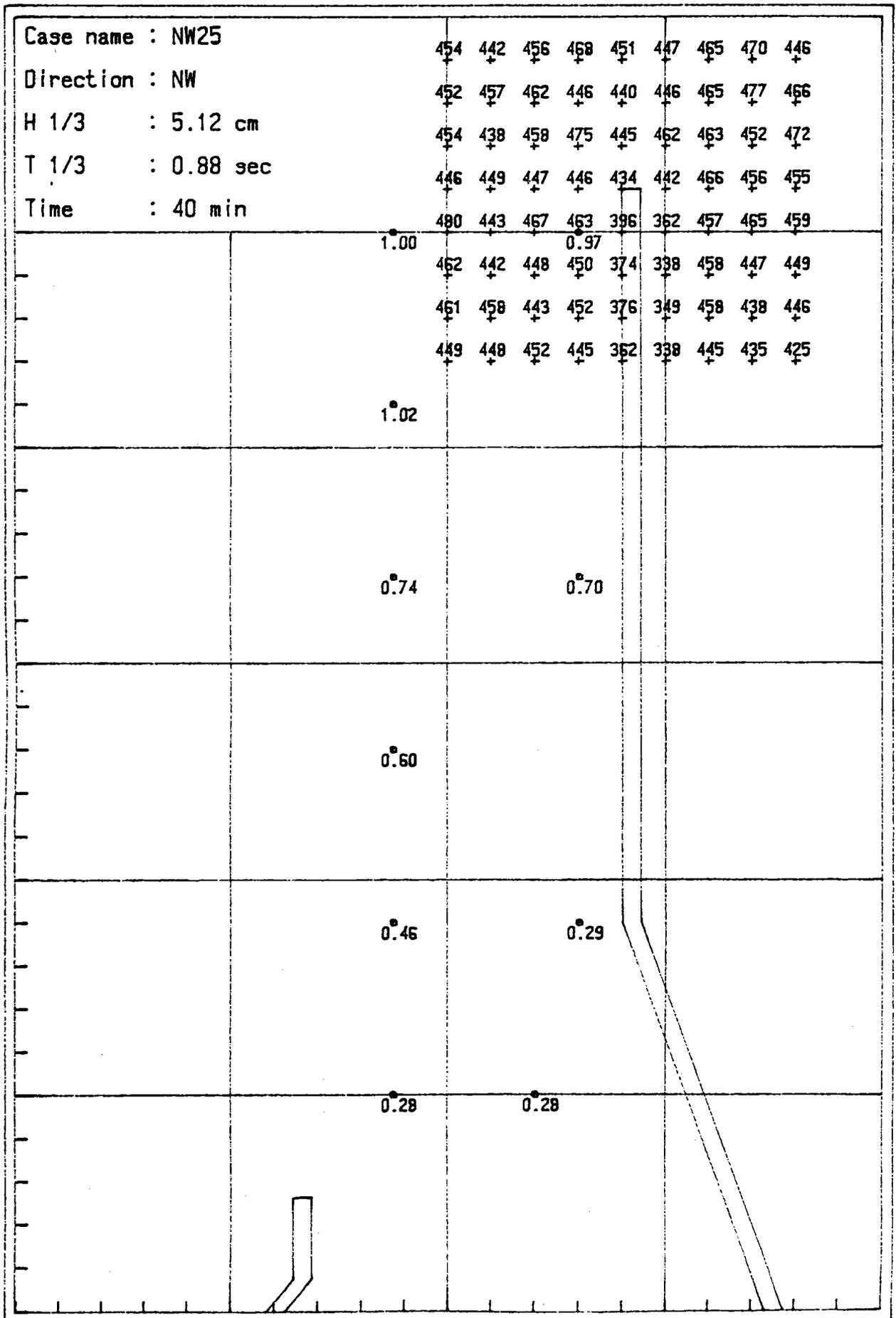


圖 A-2

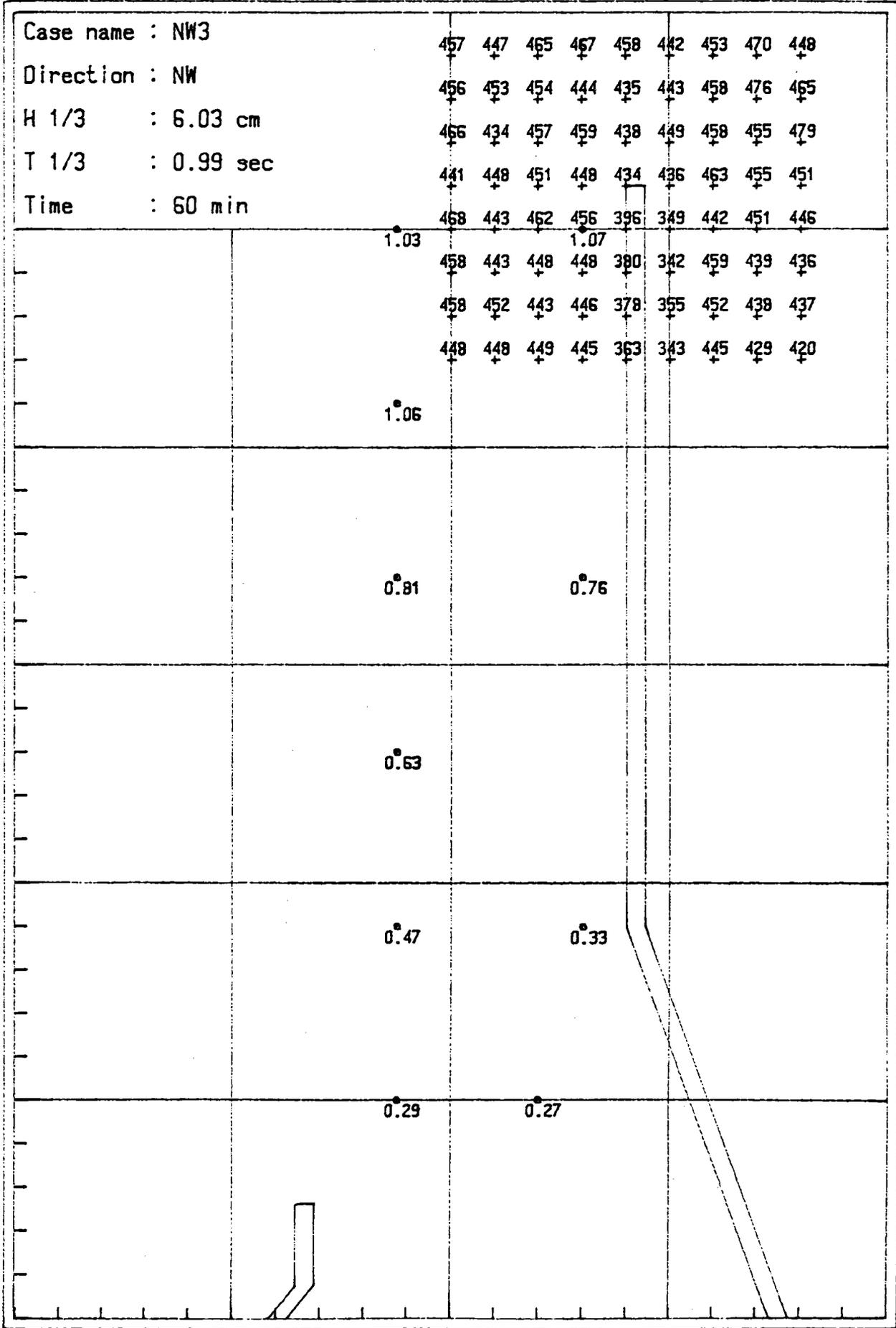


圖 A-2

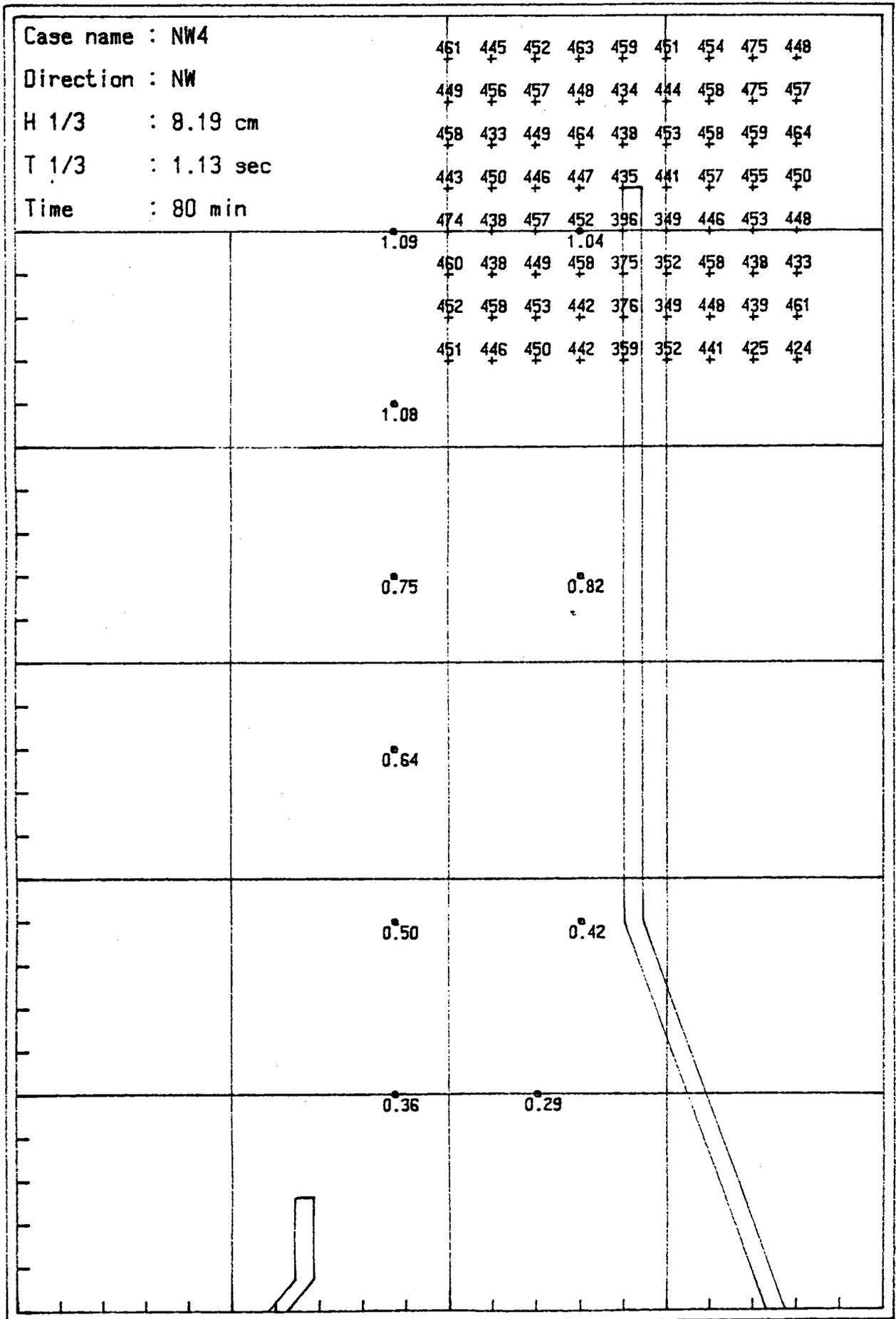


圖 A-2

Case name : NW5

Direction : NW

H 1/3 : 10.45 cm

T 1/3 : 1.29 sec

Time : 100 min

462 448 463 472 463 466 462 483 463

461 446 448 446 439 443 457 466 465

458 436 453 458 446 450 457 459 458

449 447 446 448 439 442 458 452 454

467 446 458 459 397 355 441 446 447

1.11

1.08

457 442 450 460 379 351 456 442 441

452 458 444 443 373 357 451 434 438

446 448 443 444 363 349 443 425 421

1.05

0.76

0.81

0.60

0.46

0.41

0.34

0.32



圖 A-2

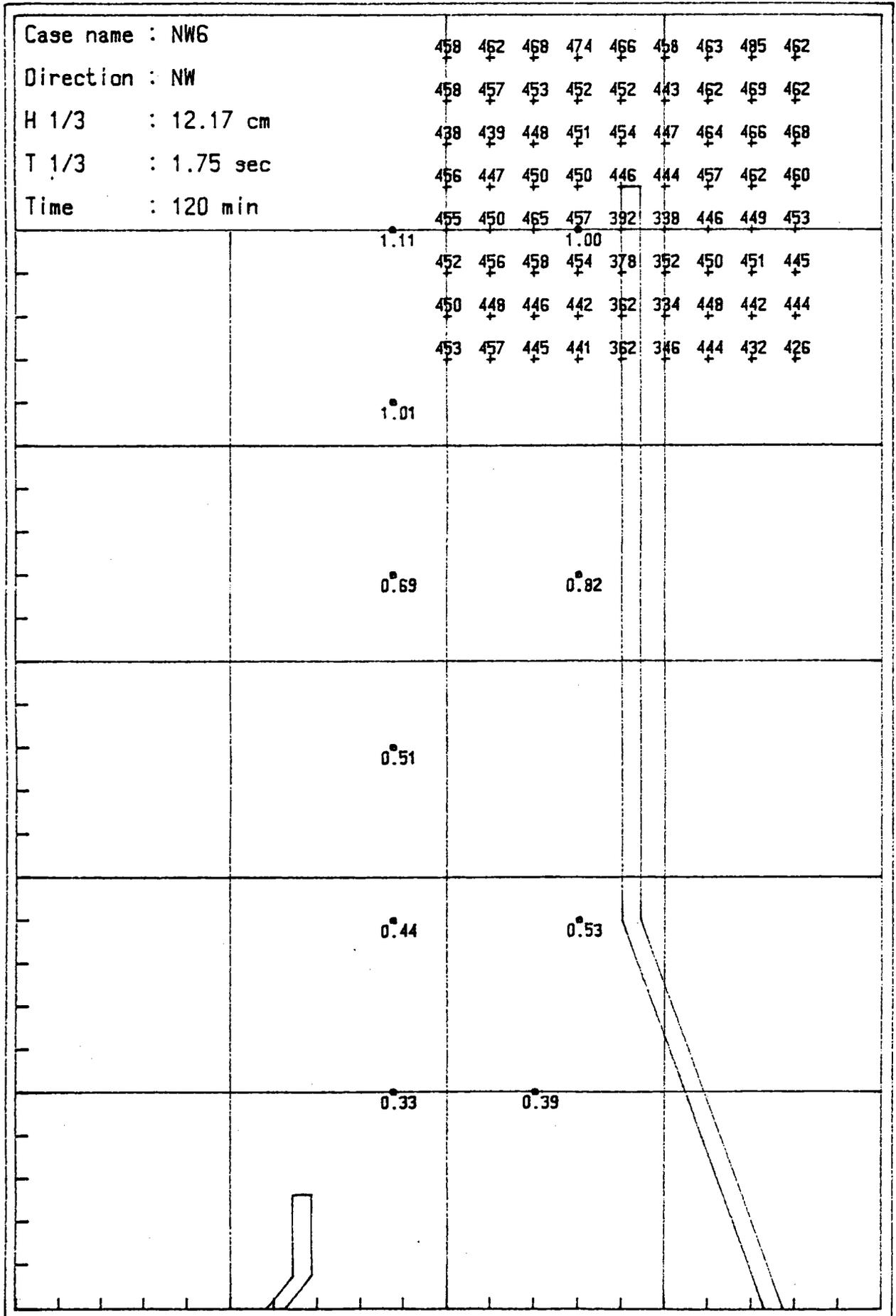


圖 A-2

Case name : NW7

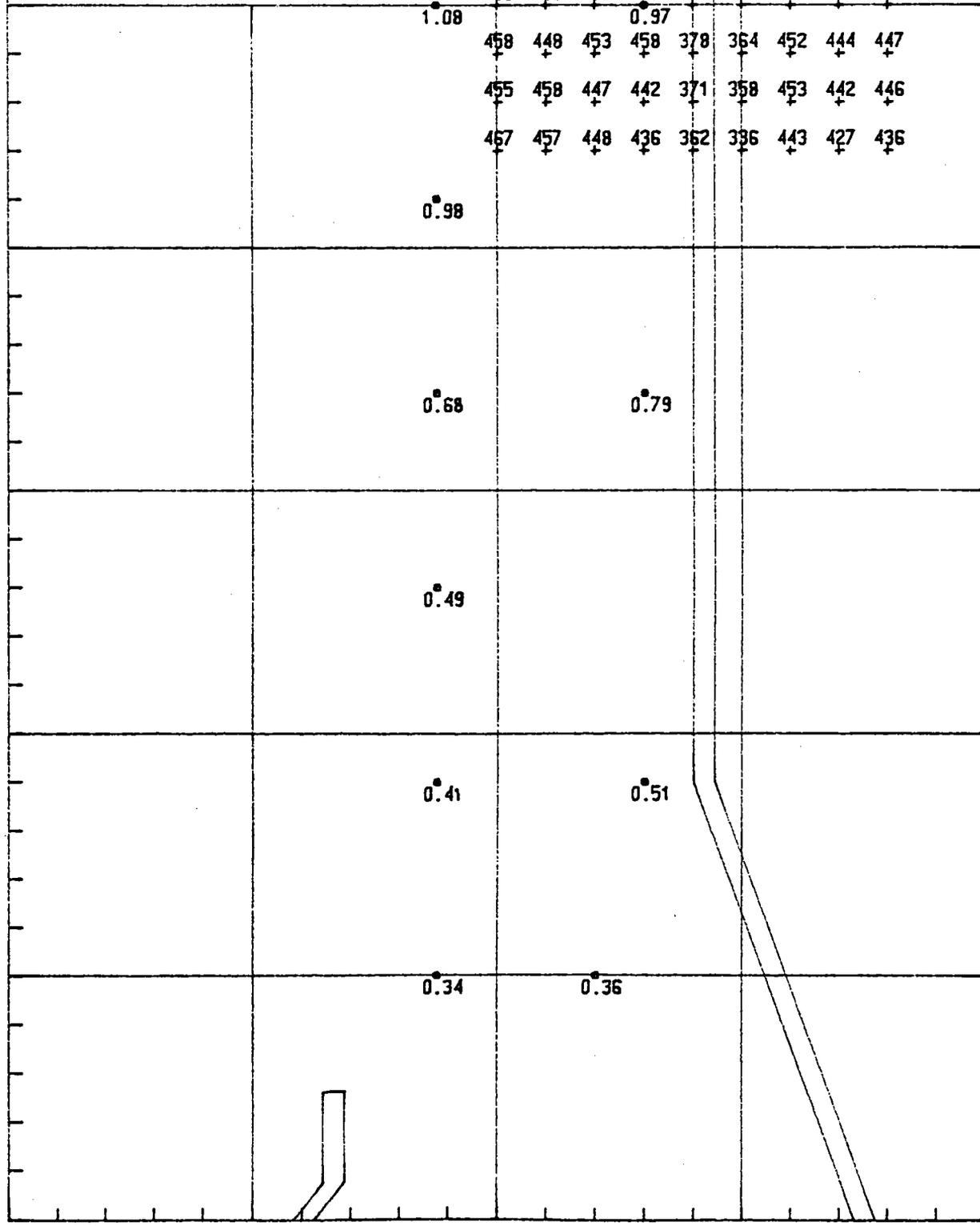
Direction : NW

H 1/3 : 14.50 cm

T 1/3 : 1.73 sec

Time : 140 min

458	462	463	459	475	464	465	483	463
455	453	451	451	444	456	463	472	465
448	441	459	452	462	456	458	476	472
463	453	454	456	449	444	455	466	462
465	450	458	463	387	366	447	455	465



Case name : NW75

Direction : NW

H 1/3 : 15.30 cm

T 1/3 : 1.82 sec

Time : 160 min

458 461 458 459 467 468 476 466 463

462 461 452 453 447 452 468 467 463

461 450 447 448 454 465 467 468 470

462 454 462 450 440 450 464 472 462

457 457 458 452 388 349 452 456 454

1.14

0.99

451 449 453 450 383 345 456 446 451

453 452 443 449 372 344 453 438 448

458 462 450 448 361 351 443 438 434

0.98

0.68

0.80

0.53

0.45

0.56

0.42

0.41

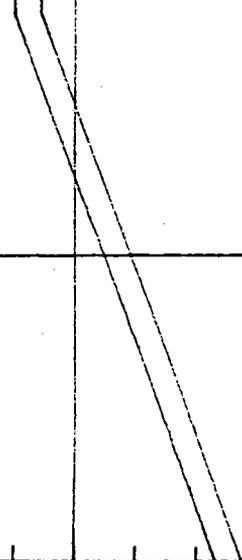


圖 A-2

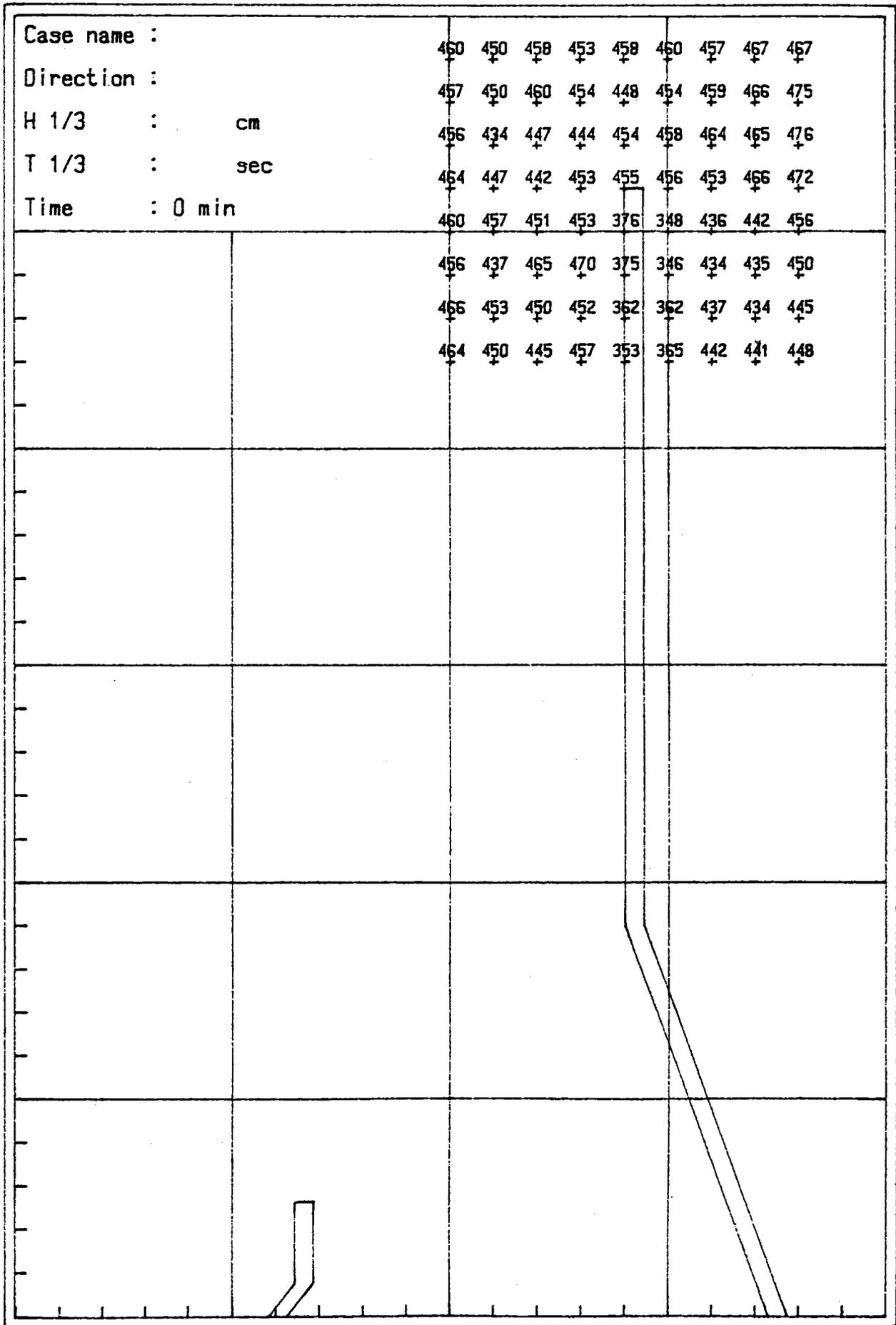


圖 A-3

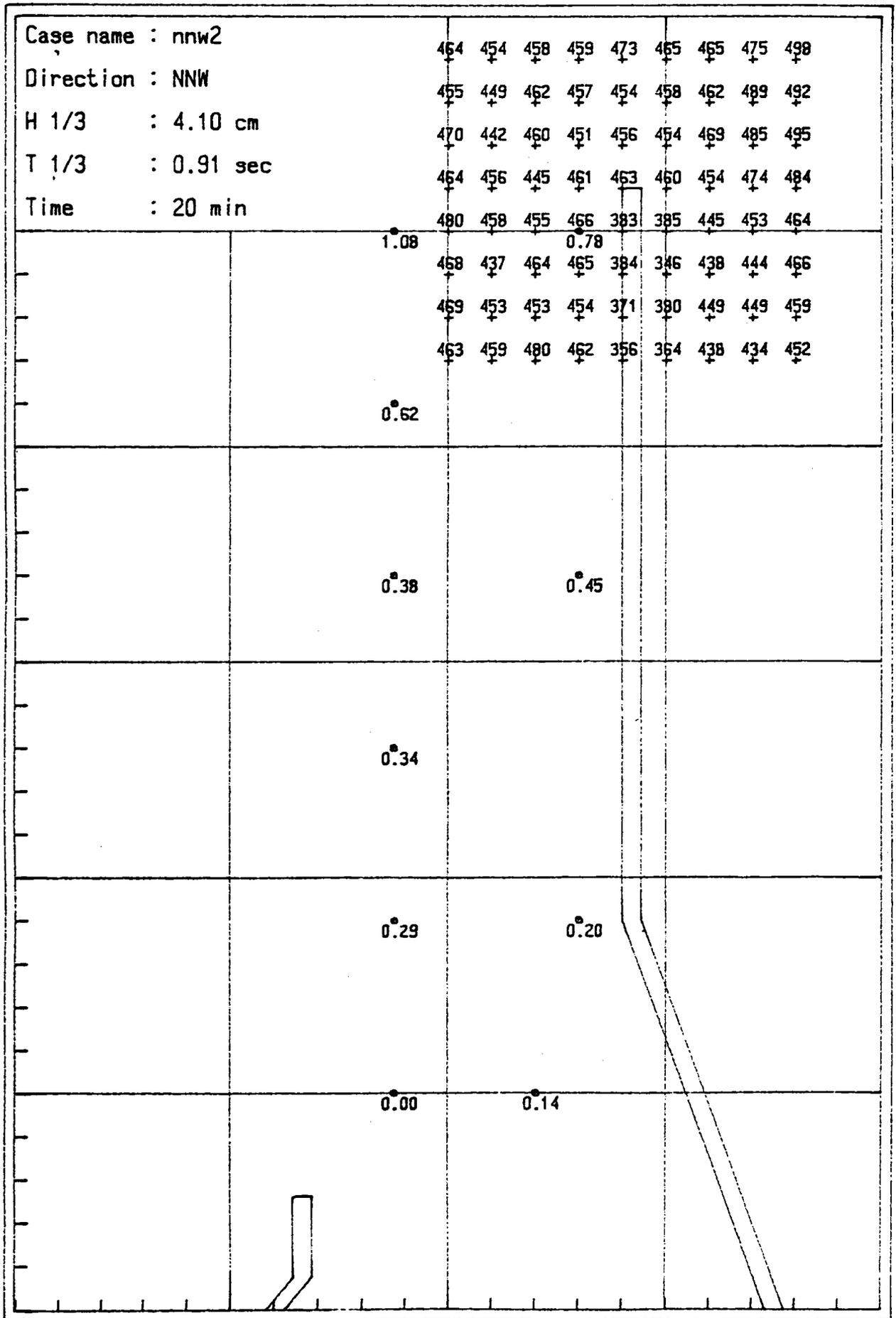


圖 A-3

Case name : nnw25

Direction : NNW

H 1/3 : 5.14 cm

T 1/3 : 0.91 sec

Time : 40 min

453	448	449	453	460	454	452	478	474
453	447	453	452	443	447	468	466	474
456	434	445	446	449	458	467	472	476
454	446	440	451	459	453	456	460	467
455	456	451	456	382	352	440	448	467

1.05

0.77

453	437	456	458	382	345	446	438	450
457	453	453	450	371	361	438	440	453
300	300	300	300	300	300	300	300	300

0.57

0.38

0.41

0.37

0.29

0.24

0.16

0.17

圖 A-3

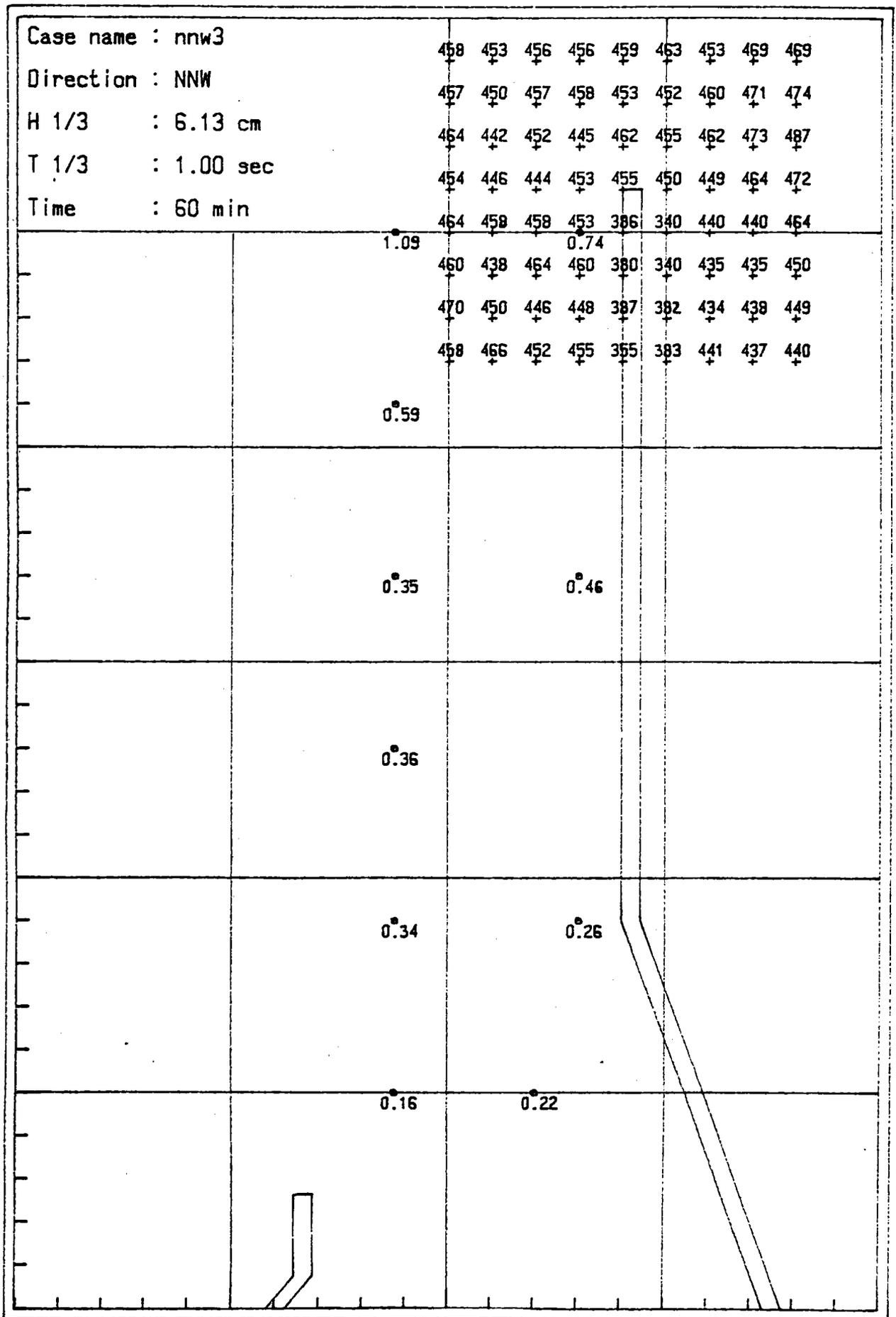


圖 A-3

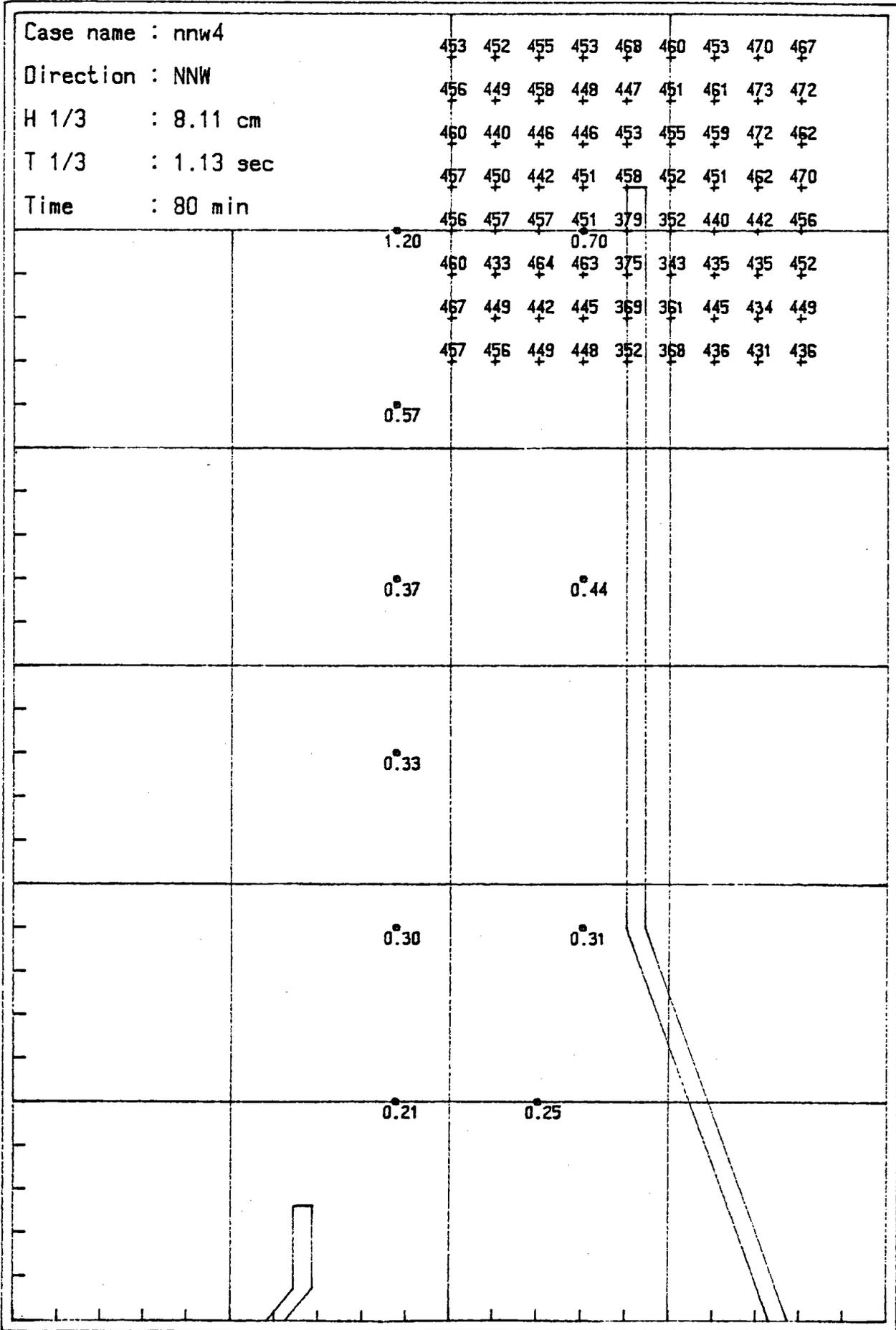


圖 A-3

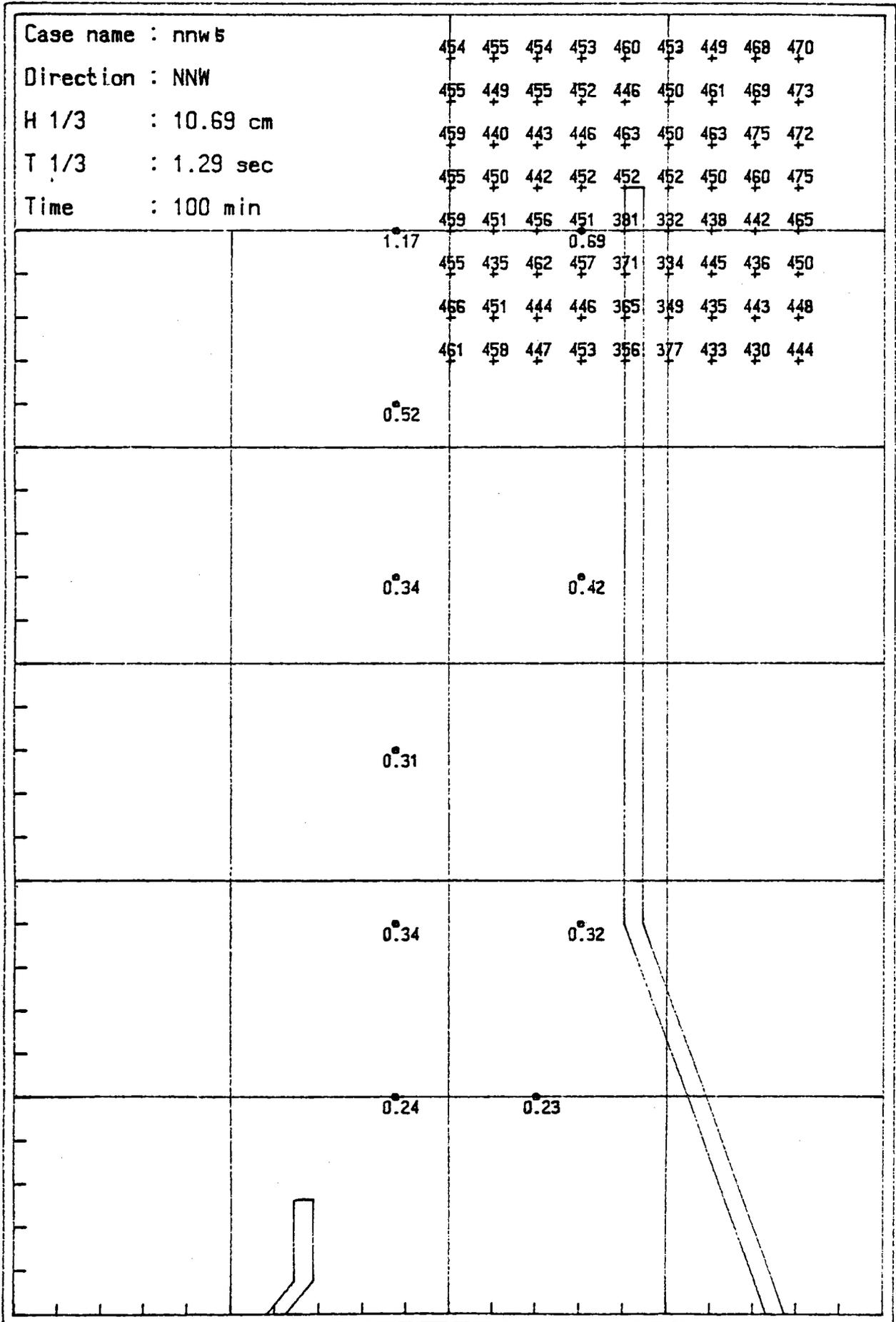


圖 A-3

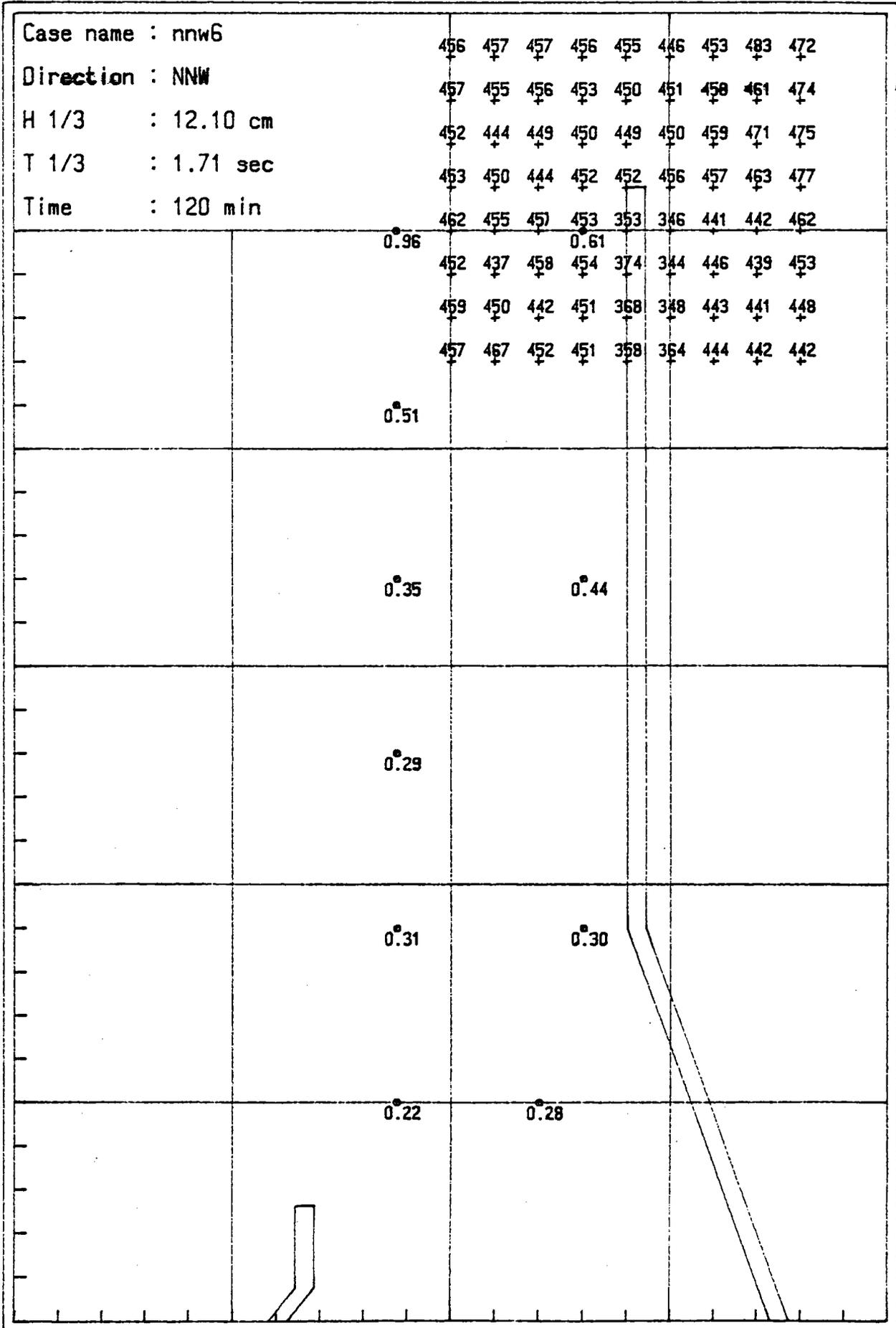


圖 A-3

Case name : nrw7

Direction : NNW

H 1/3 : 14.06 cm

T 1/3 : 1.86 sec

Time : 140 min

451	458	462	457	463	454	458	473	470
464	454	457	453	448	451	457	465	474
446	449	449	447	456	457	461	472	476
459	456	451	453	450	450	451	457	473
456	451	459	455	387	360	449	448	461

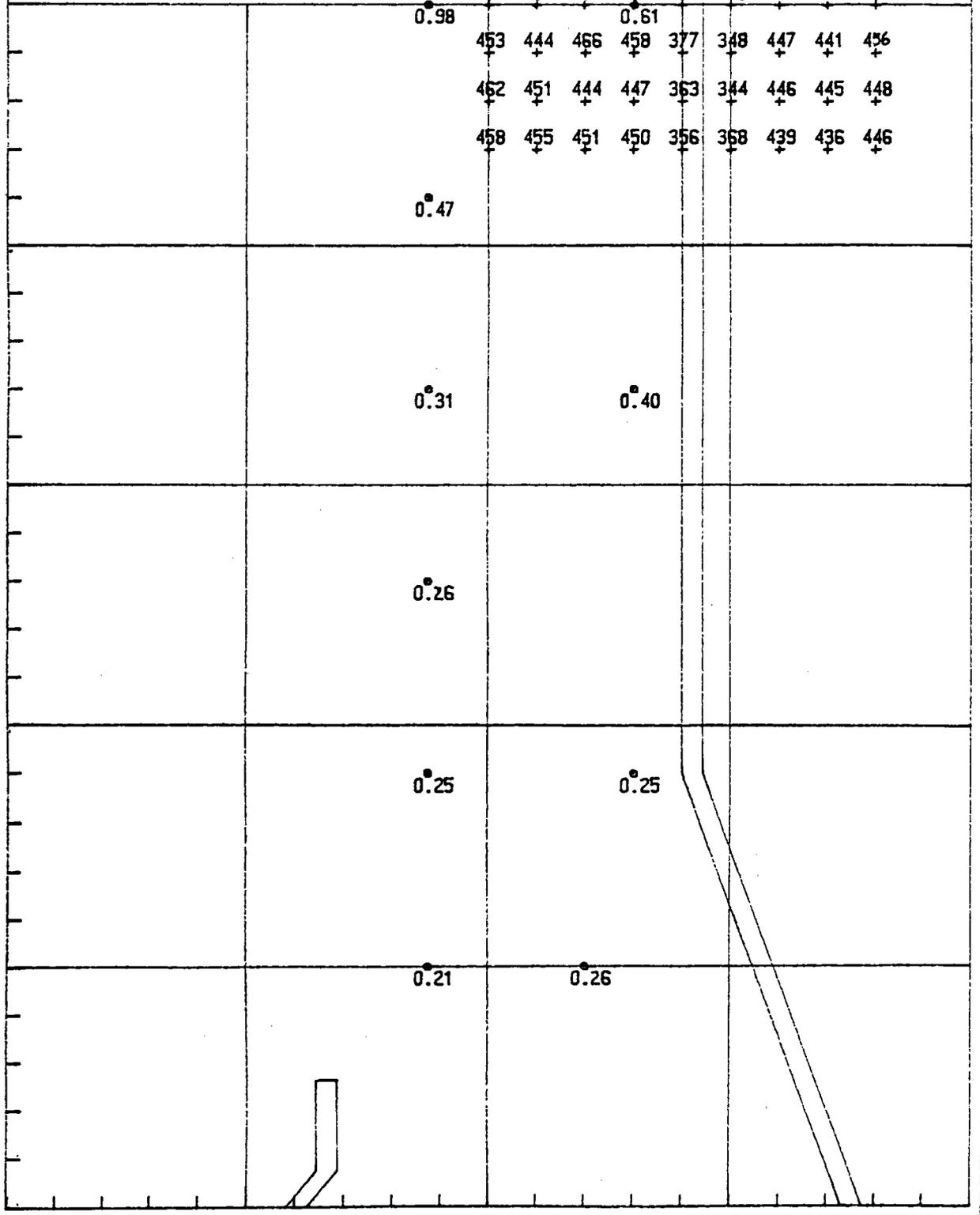


圖 A-3

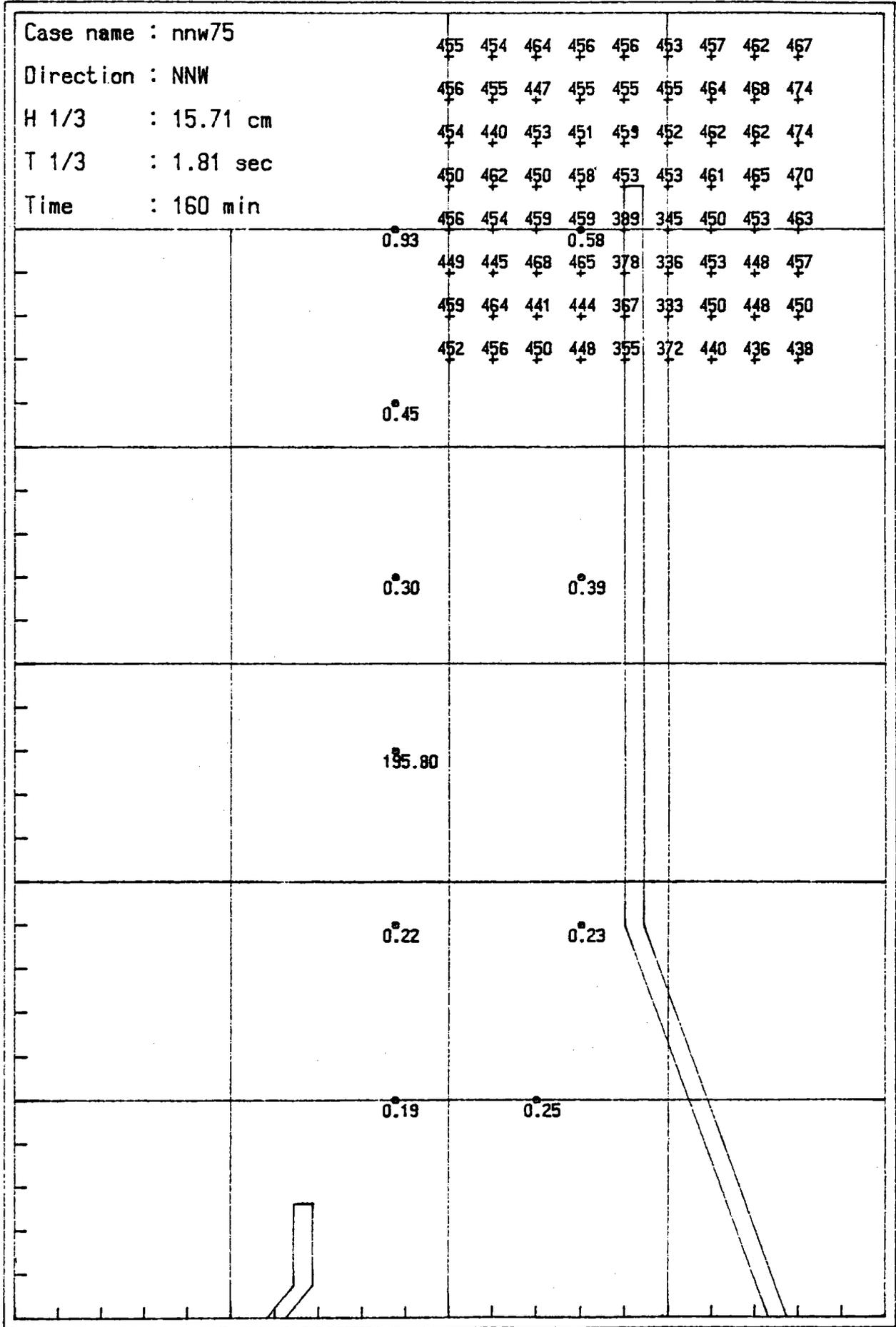


圖 A-3