

缺水地區路堤填土的研究

(鐵道研究通訊抽印本第23號)

鐵道部鐵道研究所

一九五五年·北京

缺水地區路堤填土的研究

土工研究組 周 鏡 歐陽葆元

爲了保證鐵路路基的質量和運輸的安全，必須在施工時要求將填土在人工的控制下夯實或壓實到一定的標準。一九五三年我組曾會同鐵道部新建鐵路工程總局技術處提出關於填土密度和施工控制的要求的報告。在報告中建議現場在施工時，應使土中的濕度在接近於最佳含水率的情況下，夯實或壓實到要求的密度。這樣就可能僅消耗最少的功能而達到要求的密度，並保證路基在不利的氣候和水文地質條件下具有良好的質量，因而當土中的天然濕度小於它的最佳含水率時，必須事先將土人工加濕後再進行夯實或壓實；相反地如果土中的天然濕度大於它的最佳含水率時，則要求將土耙鬆，晾乾到最佳含水率附近再進行夯實或壓實。

填土時，由於某些原因（降雨或取土坑浸濕等），它的濕度可能超過了最佳含水率許多，從圖（14），（15），（16）和圖（17）中可看出，當土的濕度超過一定的限度時，縱使消耗更多的功能（增加夯實次數或增加錘重）都不能達到某一要求密度，例如最佳密度。理論上，在一定的要求密度時，土中可能允許存在的最高含水量也是有限制的，因此，過濕的土必須晾乾到最佳濕度附近再進行夯實或壓實，否則將不可能填築到要求的密度。

另一方面，在某些缺水地區，土的天然濕度較低，要求在夯壓之前事先將土加濕，則必須解決大量水的供應問題。我國已在進行的和將進行的新建鐵路地區，農村經濟的發展還比較落後，各種設備缺乏，如果沒有很便利的天然水源可供利用，則爲使填土事先加濕而供應大量的水是有困難而且不經濟。從圖（14），（15），（16）和圖（17）以及其他資料可知，增加錘重或夯壓次數（一定範圍內）可使低濕度（低於最佳含水率）的土夯壓到要求的密度如最佳密度。但是這樣形成的土體遭遇到不利的氣候和水文地質條件時，它的浸水後的穩定性如何，尚須進一步的研究。新建鐵路工程總局將這一問題提請我組研究，以便確定在缺水地區填土施工的程序中，能否避免人工加濕的困難。

經過半年的研究試驗，根據兩種土樣的試驗結果的分析，我們認爲：在必要的情

況下，缺水地區路堤填土可以允許在天然濕度低於最佳含水率的條件下，夯壓到要求的密度；但是路堤的頂部厚20公分的面層，則必須在接近於最佳含水率的濕度下夯壓到要求的密度，這樣可以避免降雨時面層發生過量的膨脹和壓縮，以致影響到綫路上部結構的穩定性。上述方法尚須在施工中進一步調查研究。

(一) 土樣的基本性質和試樣的製備

爲了進行室內的比較試驗，共採用兩種不同的擾動土樣。它們的物理性質，如液性限度，塑性限度，塑性指數，比重及最大分子水等列於表一；顆粒分析結果列於表二。圖（1）是兩種土樣的顆粒分配曲綫。圖（2）是B號土在試驗室用標準夯實方法求得的「密度——含水率」曲綫。圖（3）是E號土的「密度——含水率」曲綫。

B號土和E號土的基本物理性質

表一

土 號	比 重	液 性 限 度	塑 性 限 度	塑 性 指 數	最大分子水	土 樣 名 稱 (根據塑性指數分類)
B	2.66	29.7	19.1	10.6	14.2	砂 粘 土
E	2.71	45.5	21.7	23.8	18.8	粘 土

B號土和E號土的顆粒組成

表二

土 號	含 量 百 分 數					土 樣 名 稱
	>0.5公厘	0.5—0.1	0.1—0.05	0.05—0.005	<0.005	
B	0	0.7	28.3	49	22	粉質重砂粘土
E	0	0.3	2.2	37.5	60	粘土類土

爲了瞭解相同密度的填土的開始含水率對路基浸水後穩定性的影響，必須製備具有相同密度，但不同開始含水率的試樣進行各種比較試驗。開始曾利用「密度——含水率」曲綫（圖14、15、16和17）來製備符合上述要求的試樣。但在夯實製樣過程中以及從夯實樣品中再切取其它的要求試樣時，土的密度常常難以控制，影響到試驗結果。後改用壓實製樣，根據各種試驗的要求，製成不同尺寸的製樣器。

製樣器是一個柱形，可以從中分開的圓筒，外加套箍，兩頭有活塞。活塞壓入後，筒內的體積固定。因而可以在不同的含水率下將試樣控制到同一要求的密度。筒的內徑及其固定體積部分的尺寸根據試驗項目來確定。

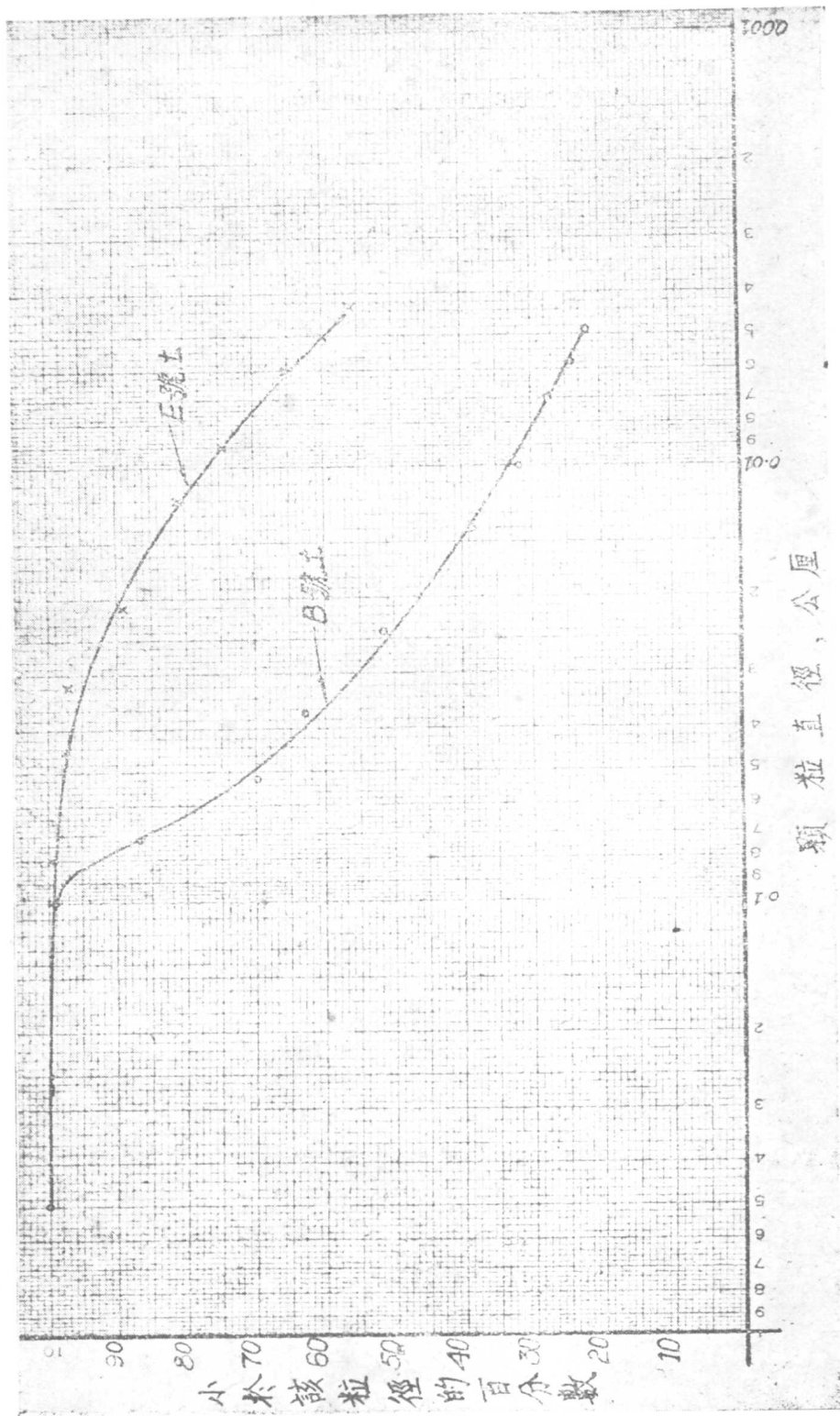


圖1 1號土和2號土的顆粒分配曲線

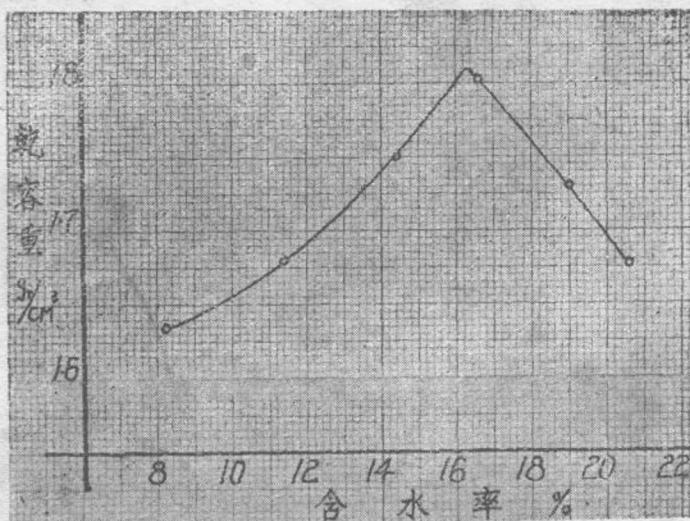


圖2 B號土的「密度——含水率」曲綫，最佳密度為1.81克/公分³最佳含水率為16.3%

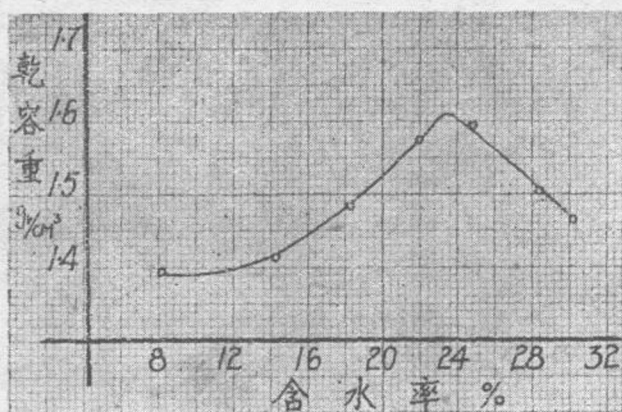


圖3 E號土的「密度——含水率」曲綫，最佳密度為1.61克/公分³最佳含水率為23.7%

(二) 土中開始含水率對其膨脹性的影響

路堤的頂部面層直接承受綫路的上部結構以及由它傳下來的活荷載。面層的變形影響到綫路上部結構的使用情況。根據路基設計的要求，填土的上層須保證受到列車通過應力的多次反復作用後，不發生永久性的變形和過大的彈性變形。爲了達到這一要求，必須保證填土的上層在最不利的水文地質和氣候條件下，它的密度的改變不致過大。具體地說，填土的頂部面層在雨季或春天融雪季節，不應發生過量的膨脹。

填土的頂部面層在受到水的作用時，由於加在土上的外部壓力較小，因而土必然會發生膨脹。膨脹的結果使得土體變鬆，密度減小，遂使綫路上部結構隆起。並由於膨脹的不均勻性，使得綫路高低不平。同時土體鬆軟後，強度降低，當列車通過時則將產生顯著的變形。

在試驗填土的開始含水率對它的膨脹率的影響時，將土樣通過 0.5 公厘的篩孔，加以不同量的水在膨脹儀的環刀中用加壓板壓成高為 15 公厘，密度相同的試樣，試樣的密度控制在 0.90δ 附近。因為根據要求，填土的頂部面層應夯到 0.90δ 的密度，其中 δ 為土的最佳密度。根據膨脹試驗的結果，將膨脹率和膨脹時間的關係繪成膨脹曲線，如圖（4）和圖（5）所示。

圖（4）是 B 號土的膨脹曲線，其縱座標表示膨脹率，橫的對數座標表示膨脹經過的時間，以分鐘計。B 號土的最佳密度為 1.81 克/公分^3 ，故 0.90δ 等於 1.63 克/公分^3 。用做膨脹試驗的試樣的開始密度在 $1.63—1.66 \text{ 克/公分}^3$ 之間。曲線上的符號 W 表示每個試樣的開始含水率。

圖（5）是 E 號土的膨脹曲線，E 號土的最佳密度為 1.61 克/公分^3 ，故 0.90δ 等於 1.45 克/公分^3 。試驗所用試樣的開始密度範圍在 $1.44—1.45 \text{ 克/公分}^3$ 之間。所用符號與圖（4）相同。

從圖（4）和圖（5）中可知：

1. 同一密度的試樣，它的開始含水率愈小則浸水後的膨脹愈利害。
2. 在膨脹的開始一段時間內，開始含水率愈小的試樣膨脹得愈快。
3. 粘土 E 的膨脹率大於砂粘土 B，並且比 B 土膨脹得較快。

從膨脹試驗的結果中，同時計算了試樣在膨脹後它的密度和含水率的改變，繪成圖（6）和圖（7）的曲線。圖（6）是具有相同開始密度（ $\delta=1.63—1.66$ ），但不同開始含水率的 B 號土膨脹穩定後，土的密度和含水率的改變情況。圖（7）是具有相同開始密度（ $\delta=1.44—1.45$ ），但不同開始含水率的 E 號土膨脹穩定後，土的密度和含水率的改變情況。

從圖（6）和（7）中可知，試樣的開始含水率愈小，則浸水膨脹後的密度降低得愈利害，同時浸水膨脹後土中的含水率增加得愈多。

土的強度與它的密度和含水率有關。密度愈小則強度愈低，同時含水率增加也降低土的強度。因而相同密度的試樣，它的開始含水率愈低時則浸濕後強度的損失也愈大。（飽和土的密度和含水率是一致的）。

為了瞭解增加土的密度對膨脹的影響，曾用含水率相同的土做成（壓製法）不同

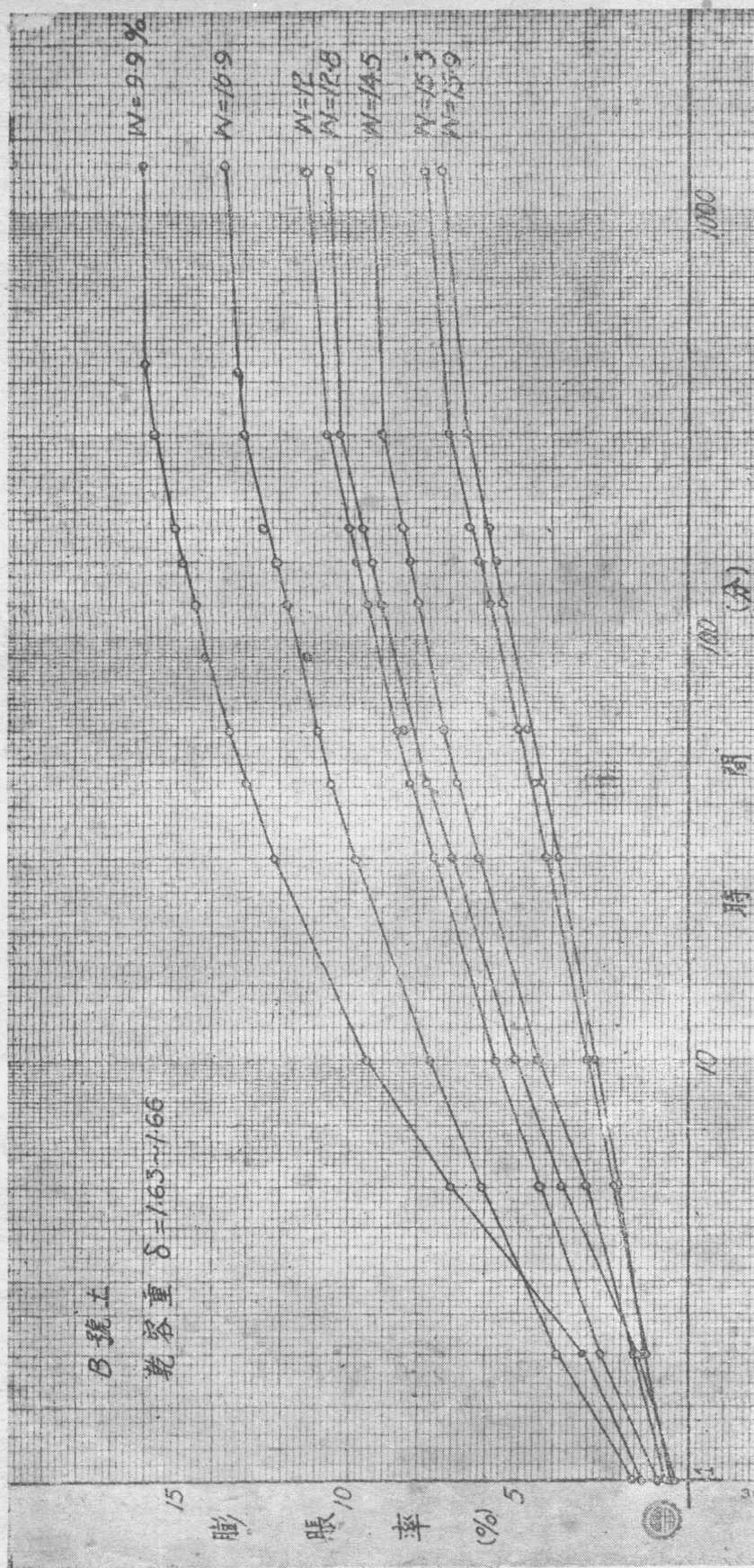


圖4 B號土的開始含水率對其膨脹性的影響

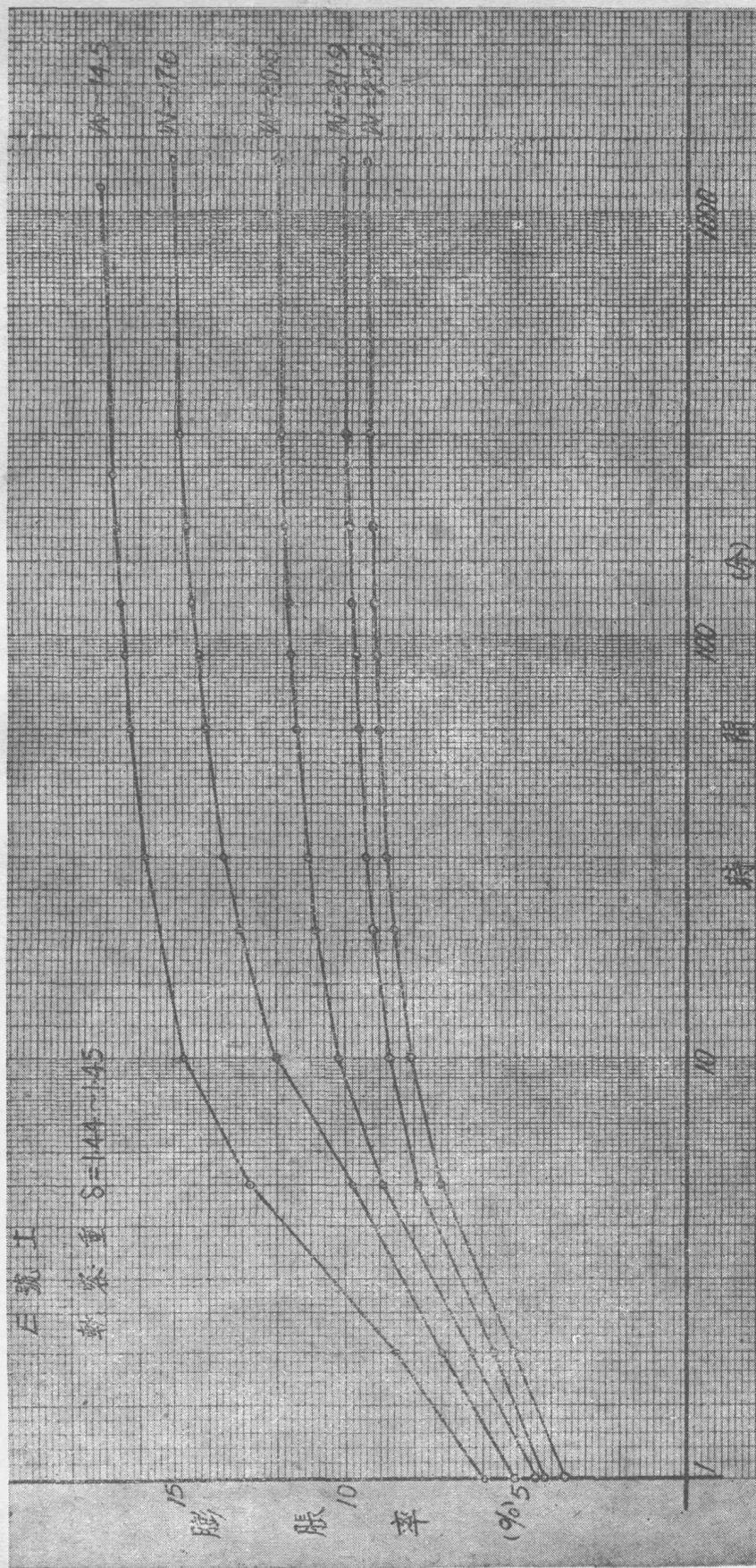


圖5 白泥土的開始含水率對其膨脹性的影響

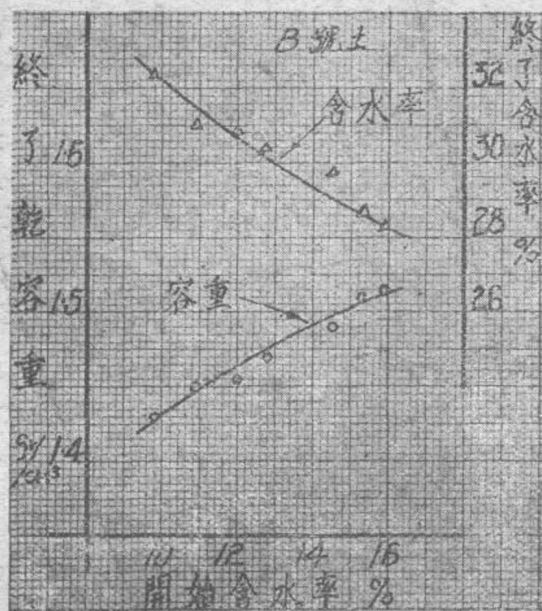


圖6 B號土膨脹後密度和含水率的改變情況，開始密度 $\delta = 1.53$ — 1.66

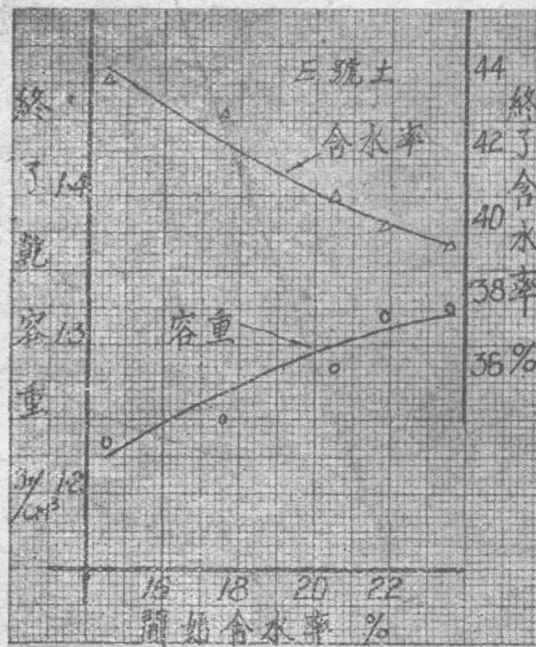
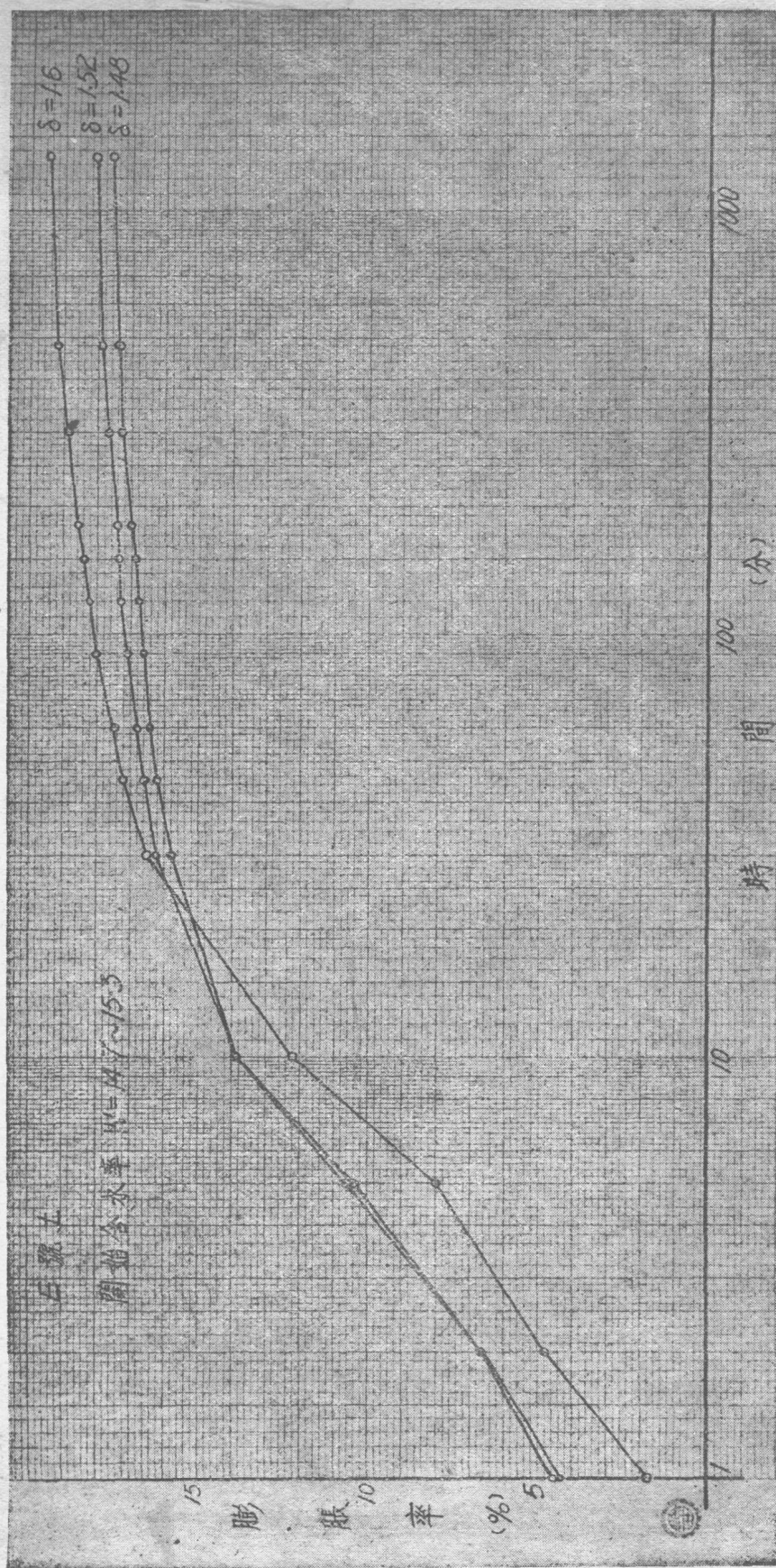


圖7 E號土膨脹後密度和含水率的改變情況，開始密度 $\delta = 1.44$ — 1.45

密度的試樣進行膨脹試驗。試驗結果繪成膨脹曲綫，如圖（8）和圖（9）所示。圖（8）是B號土的試驗結果。試樣的開始含水率 $W = 10.1$ — 10.6% ，符號 δ 表示土



18 密度對膨脹率的影响 (B號土)

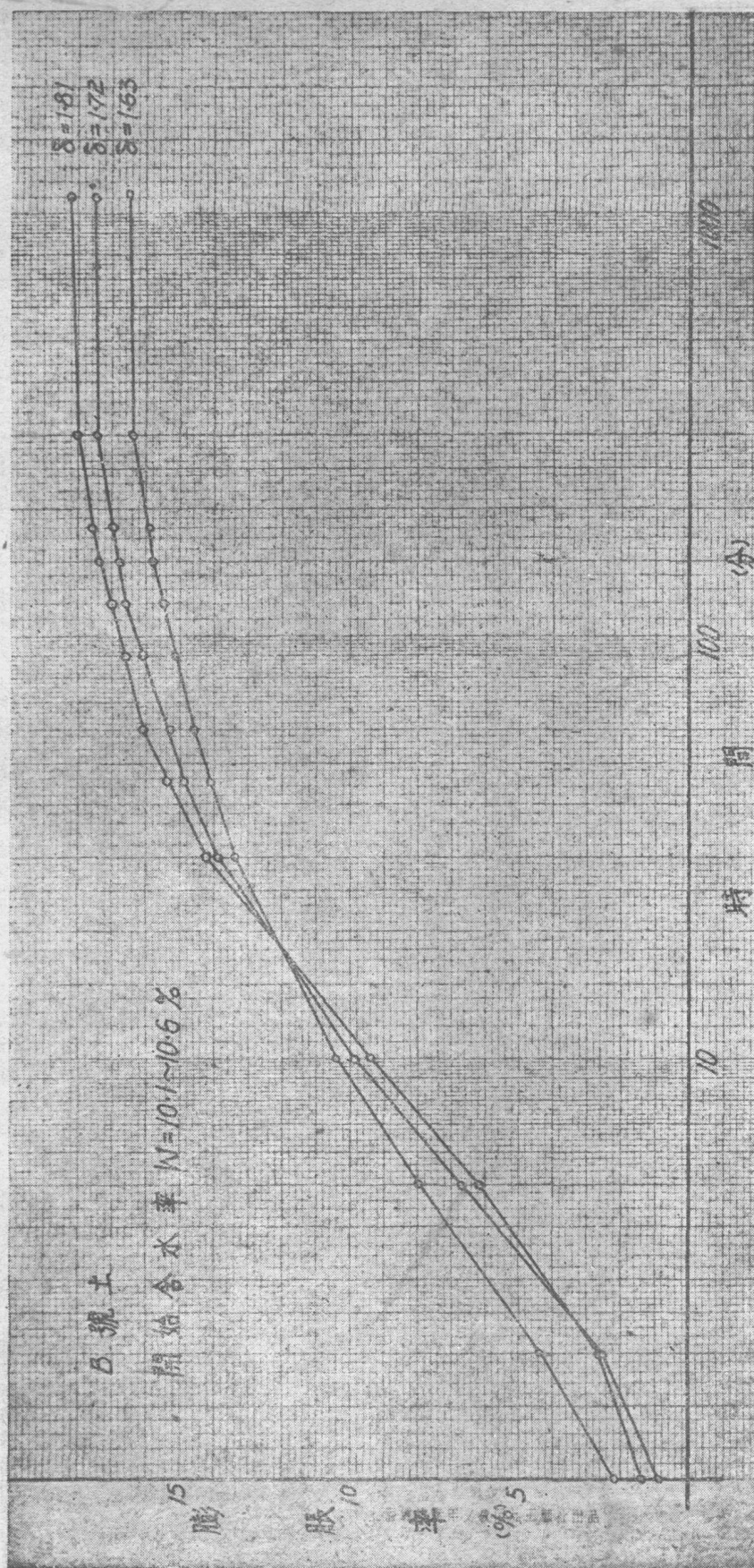


圖9 密度對膨脹率之影響 (E號土)

的乾容重。圖(9)是E號土的試驗結果。試樣的開始含水率 $W=14.7—15.3\%$ 。

從圖(8)和圖(9)中可看出，增加土的密度並不能改善它的膨脹性能；相反地，在同一含水率下，膨脹率隨密度的增加而略有增大。此外當開始浸濕的一段時間內，密度較大的試樣比密度較小的膨脹得慢。這可能是由於密度較大的試樣水較難滲入的原故。這一點是有利的。

上述的有關膨脹試驗的結果證實：在含水率低於最佳含水率的情況下填築路堤的頂部面層，當不利的水文地質和氣候的條件下將引起頂部面層顯著的變形。

(三) 土中開始含水率對其強度的影響

填土須要有足夠的強度，使路堤在各種季節變化及荷重作用之下均不致塌裂。如前所述，土的強度與它的密度和含水率有關。路堤填土修築後，如果不遭遇到不同氣候的影響，則土中的含水率愈低時強度愈大。事實上，由於自然因素的作用，在不同氣候和水文地質條件的影響下，填土的密度和濕度都將發生變化，因此也使土的強度發生變化。

在試驗室中，為了瞭解浸濕作用對具有不同濕度的土(開始密度相同)的影響，採用了無側限壓力試驗方法(參5)。試驗所得結果雖不能說明土的真實強度情況，但作為強度的相對比較還是有價值的。

試驗室中將不同含水率的土樣在製樣器中用靜壓力壓製體積為 $5\phi \times 5$ 公分的試柱，試樣具有相同的密度。將試樣在天然含水率的情況下做壓力試驗；另一部分試樣則放在飽和的棉絮中浸濕三日後再做壓力試驗。B號土的試驗結果如圖(10)所示。試樣的開始密度為 1.54 克/公分³。從圖(10)可知，浸濕前土中濕度

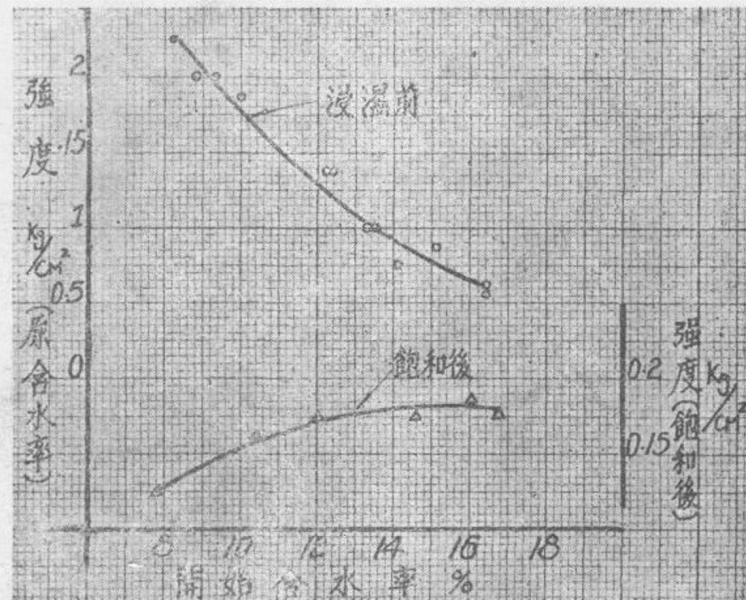


圖10 B號土浸濕前後強度的變化， $\delta=1.54$

愈低，則強度愈大；浸濕後所有試樣的強度都顯著地降低，開始含水率愈小，則降低值愈大。但僅從飽和後的曲線看，強度的差別是不大顯著的。

(四) 土中開始含水率對其沉降性的影響

填土須保證路堤修築後，在不利的水文地質和氣候的條件下，不致因其本身的重量而發生大量的沉陷。路堤由於其本身重量所發生的沉陷，主要是由於大氣水、地面水或地下水的侵入。在壓力作用下，抵抗土粒互相移動的抗力和圍繞着土粒的水膜厚度有關。水膜的厚度則和土空隙中所含的水分成直綫關係。當大氣水、地面水或地下

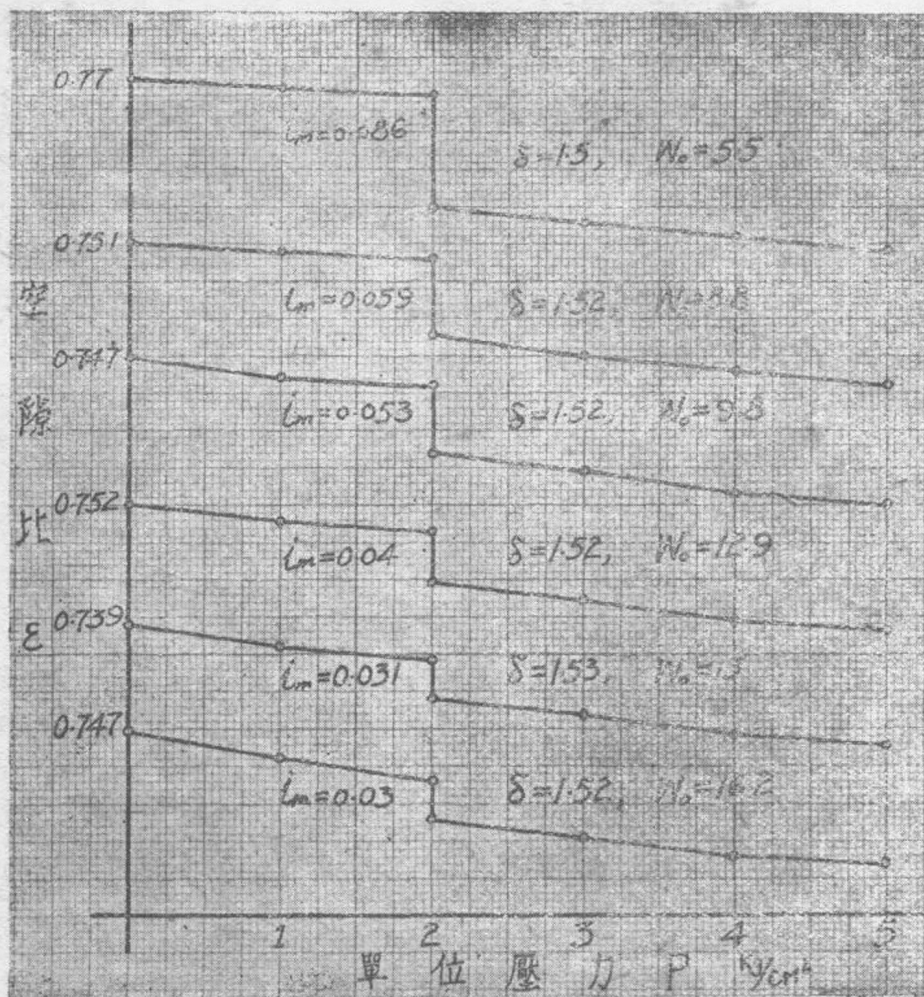


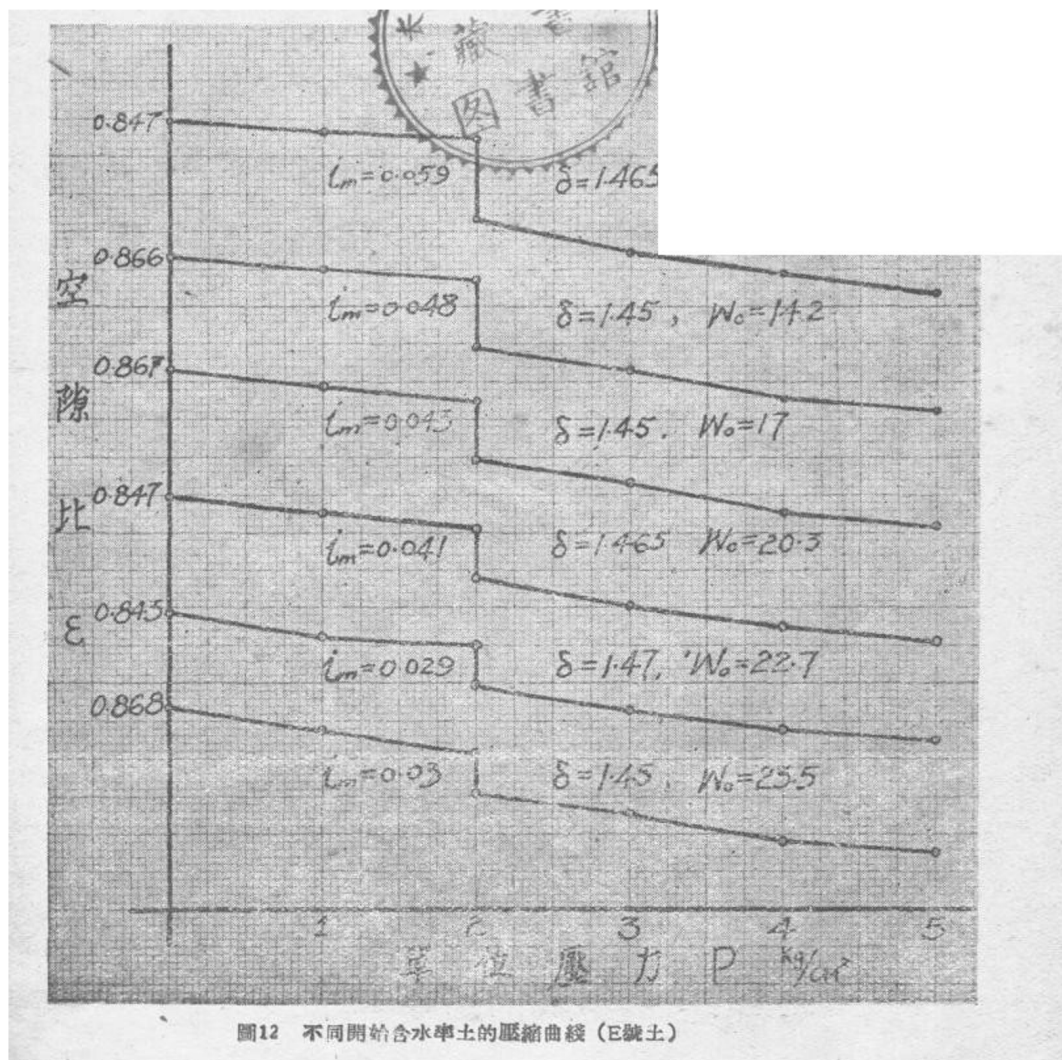
圖11 不同開始含水率土的壓縮曲綫 (B號土)

水浸入土體時，由於土空隙中水分的增加，水膜厚度亦增厚，水膜強度逐漸消失，因而土體逐漸喪失了它原有的穩定性。

爲了瞭解土體浸濕後它的開始含水率對沉降性的影響，在試驗室中用 B 號土和 E 號土製成密度相同，但開始含水率不同的試樣，然後進行浸水壓縮試驗。試樣係在 2 公斤/公分² 的壓力下開始浸水，測定其浸水後的附加沉降量，浸水沉降值用相對下沉量 i_m 來表示。

試樣係將不同含水率的土放在特製的製樣器中壓成，製樣器的直徑略大於壓縮試驗的浮圈，壓成相同的密度土柱後，再用切樣器製成壓縮試驗的試樣。

圖 (11) 是 B 號土的壓縮曲線。圖中 δ 表示試樣的開始密度， W_0 表示試樣的開始含水率。



圖(12)是E號土的壓縮綫曲。圖中所用符號的意義和圖(11)相同。

從圖(11)和(12)可知：浸水前，土的濕度愈大則在壓力下發生的壓縮愈多。這是由於濕度大則圍繞土粒的水膜厚，因而抵抗壓縮的抗力較小。在2公斤/公分²的壓力下浸水後，則土中的開始含水率愈低，發生的浸水沉降值 i_m 愈大。

圖(13)表示兩種土的浸水沉降值和它的開始含水率的關係。必須注意，E號土樣所用的開始密度接近於 $0.90\delta_0$ ，而B號土的開始密度則在 $0.85\delta_0$ 的附近，因此二者不可互相比較。

當土的開始含水率等於它最佳含水率的一半時，浸水沉降值增加約一倍。但是在缺水地區一般雨量較小，因此路堤完全浸水以致土體完全浸透的可能性也較小，因此路堤填築時的含水率低於最佳含水率時，在不同的氣候條件影響下也不致由於其本身的重量而發生大量的沉陷。

(五) 夯實功能和開始含水率的關係

當土的濕度小於最佳含水率的情況下，要將土夯實到一定的密度，例如最佳密

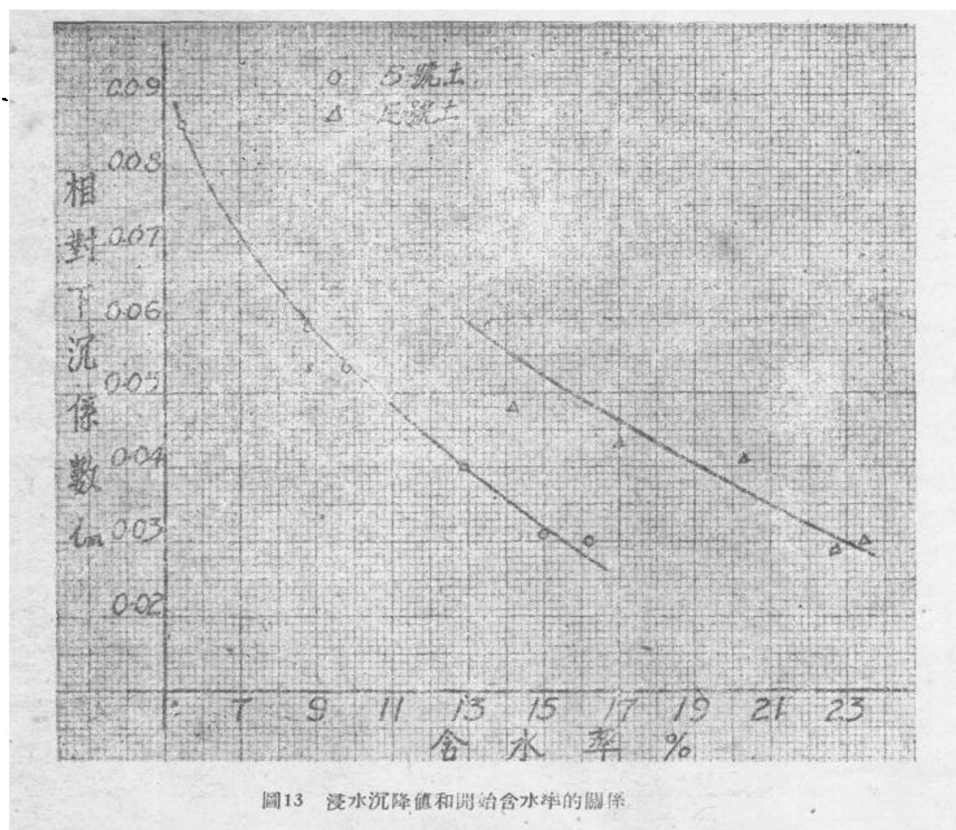


圖13 浸水沉降值和開始含水率的關係

度，必須消耗更多的功能。增加夯實功能可以用下述方法進行，增加夯擊次數或增加錘重等。

圖(14)和(15)是在試驗室中，將B號土和E號土在不同的夯擊次數下所得到的「密度——含水率曲線」。圖中符號表示：

土號——錘重——落高——夯擊次數

B —— 2.5 —— 30 —— n

E —— 2.5 —— 30 —— n

從圖中可以看出，夯擊次數逐漸增加時，它所產生的效果逐漸減小。當達到某一限度時，再增加夯擊次數則實際上將不發生任何效果。

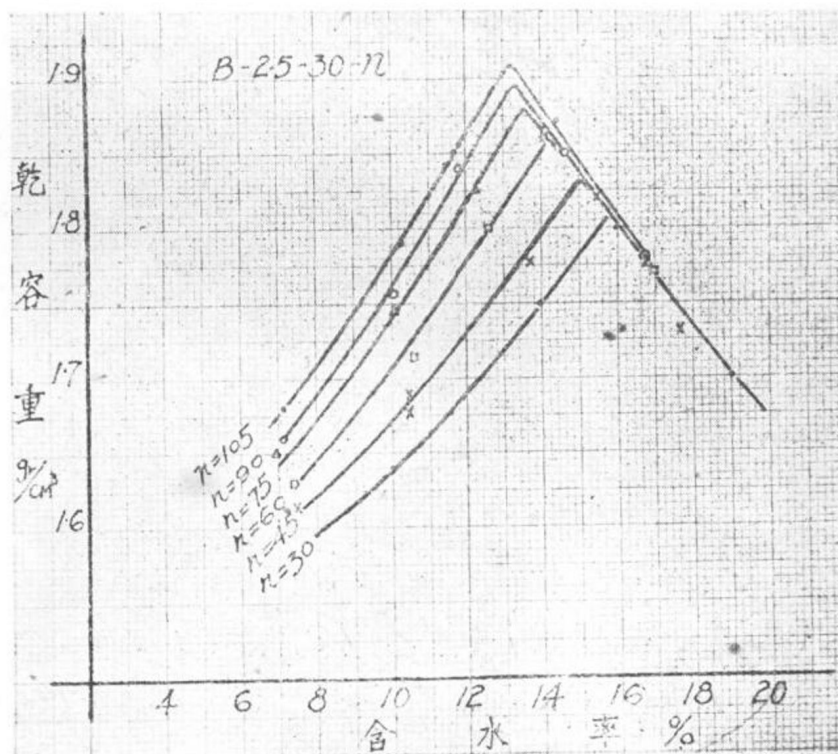


圖14 不同夯擊次數下的「密度——含水率」曲線 (B號土)

圖(16)和(17)是在試驗室中，將B號土和E號土用不同的錘重夯擊所得的「密度——含水率」曲線。圖中的符號表示：

土號——錘重——落高——夯擊次數

B —— W —— 30 —— 30

E —— W —— 30 —— 40

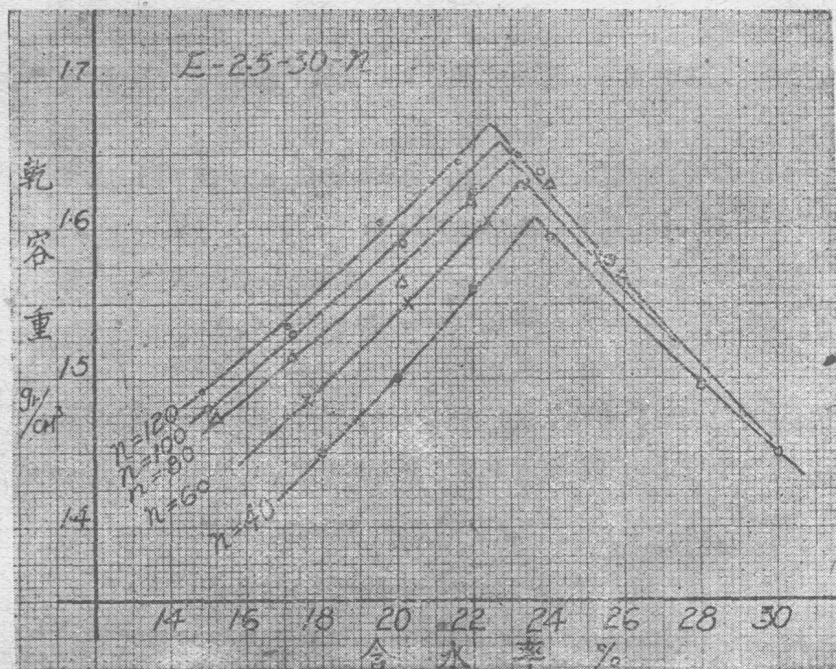


圖15 不同擊次數下的「密度——含水率」曲綫 (E號土)

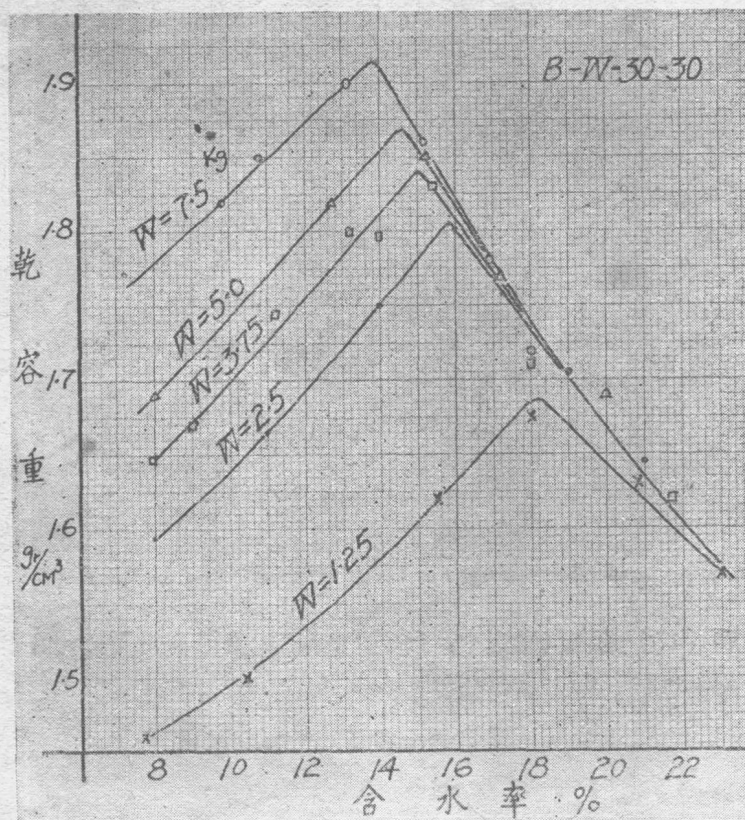


圖16 不同錘重時的「密度——含水率」曲綫 (B號土)