

蘭新綫張掖地區鹽漬土路基研究的初步報告

(鐵道研究通訊抽印本第 1 號)

鐵道部鐵道研究所

一九五四年·北京

蘭新線張掖地區鹽漬土路基研究的初步報告

土壤研究組 盧肇鈞 周鏡 化學研究組 王濬明 沈長庚

(I) 引言

(II) 技術資料

(III) 初步研究情況

(IV) 研究結果的討論

(I) 引言

在我國西北的廣大地區中，分佈有許多鹽漬土地帶；（當地稱為“碱灘”）。在這種地面上呈現有變色的龜裂痕跡，白粉狀的鹽凝物，或者有鹽質的硬殼。在蘭新鐵路將要經過的地區，張掖、玉門、酒泉、哈密一帶，連綿不斷的均是變色的鹽漬土壤，地表上似乎覆蓋著一層污雪。在蘭寧鐵路沿線，特別在銀川附近，也將經過許多「碱灘」。

鹽土給鐵路帶來了一系列的困難問題，其中一個主要的問題是如何在鹽土地區確保路基穩定。根據現有的報導，鹽土區的地面每年春季有一段時期，成為極軟的狀態，在這期內通過鹽土區的公路，也鬆軟翻漿阻礙行車。為了研究如何防止這種危害鐵路路基的現象，我們自1953年七月開始進行了下述的研究工作：

研究工作的目標是要確定含鹽土壤作為填築路堤材料時的工程性質，如各種不同鹽份的容許含量問題；各種鹽土在路堤中所需要的壓實密度以及最佳含水量問題等等。在這一工作中，1953年的初步目標是要對張掖和高台地區的鹽土性質進行實地調查和分析試驗。

實地調查的工作於七月下旬開始，至八月中旬完畢。調查的範圍是張掖和高台地區的兩個「碱灘」，共採取了土樣200個，進行各種分析試驗。除此以外，還進行了從蘇聯的科學文獻中收集有關這方面的技術資料。

調查試驗的結果使我們對於張掖和高台地區的鹽漬土有了初步的認識。茲參照蘇聯的技術資料作出這一篇初步的討論和報導。在這篇報告中的鹽土試驗結果，僅限於物理性質和化學性質部份。關於其力學性質的試驗，將在下一階段的研究工作中進行。

(II) 技術資料

(一) 鹽漬土生成的原因；

在各種岩石風化分解變成土壤的過程中，分離出少量的易溶的鹽類。這些鹽類分佈在土中，所佔的成份極其微少，因而通常不被注意。當地下水從岩石隙中和土層中流過時，一部份可溶的鹽類便溶入水中而被帶走。

大部份區域中的地下水是匯入江河流入海洋而後蒸發的。因此可溶鹽質也逐漸聚入海洋，使得海水中含鹽的濃度大於地下水。在一些地區，海水可能浸入岸上蒸發，因而將鹽質留在地面上，形成沿海的鹽漬土，如我國渤海沿片的鹽土等等。

在大陸內部沒有河流的與海洋隔絕而又乾旱的地區，易溶的鹽類便被地下水帶到各種低地去，使得水質苦澀，這些水在流動過程中又由於地面蒸發的作用而使得水中鹽份的濃度逐漸增加，同時由於各種鹽類

的溶解度各不相同，所以這時候各種鹽就先後分離出來。 CaCO_3 是較不易溶解的化合物，它和一些其他的鹽類首先沉澱在地勢較高的地方。 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ （石膏）或 Na_2CO_3 等鹽類其次沉澱。再次為 Na_2SO_4 。最後剩下易溶的鹽類如 NaCl 、 MgSO_4 、 MgCl_2 和 CaCl_2 。

當這等大陸內部含有多量鹽類的地下水流經乾旱地帶的低地時，地表被太陽灼熱，蒸發量甚大。如果地下水位距離地面很近，則含鹽的水將陸續不斷地沿毛細管上昇而被蒸發。於是鹽份遺留在地表上層中，形成了內陸的鹽漬土地帶。地下水可以通過土壤蒸發並因而形成鹽土的深度，叫做臨界深度，這種深度通常為1.5~2.0公尺，特殊者達3.5~4.0公尺。

（二）鹽漬土壤的工程性質：

根據現有的一些蘇聯文獻，我們所得到關於這方面的資料概括如下：

一般說來鹽漬土在乾燥狀態時的沉壓力甚大，但在潮濕時就很快地失去本身的承壓力，很容易被沖刷。在鹽漬土地區內的道路，每年有一兩個濕季變為泥濘不堪的狀態，車過時留下很深的溝痕，甚至不能通車，這種土壤作為建築物的基底是很軟弱惡劣的。

因此當在鹽土區中修建道路和建築物時，便需要調查研究含鹽土壤的物理和力學性質以及鹽土區中的水文和氣候條件。

當土中所含的可溶鹽總量小於0.5%時，土壤的物理和力學性質主要依其顆粒組成的特性而決定，鹽份實際上不發生影響。當含鹽量超過0.5%後，土壤的性質開始受鹽份的影響而改變。當可溶鹽在土中的含量超過了3%時，土壤的物理和力學性質將主要依所含鹽份的種類和多寡而決定，顆粒組成退居於次要的地位。

按照鹽漬土中所含可溶鹽類的化學成份，鹽漬土可分為下列四類：

（1）氯鹽土，其中所含氯根和硫酸根的比例是 $\text{Cl}/\text{SO}_4 > 2.0$

（2）含硫酸根的氯鹽土， $\text{Cl}/\text{SO}_4 = 1.0 \sim 2.0$

（3）含氯根的硫酸鹽土， $\text{Cl}/\text{SO}_4 = 0.3 \sim 1.0$

（4）硫酸鹽土， $\text{Cl}/\text{SO}_4 < 0.3$

在可溶的鹽類成份中，對於地基最有害的是硫酸鹽（ MgSO_4 、 Na_2SO_4 ），土中的這種硫酸鹽含量若達到1%便可能使道路在濕季中完全不能通車。另一方面對於地基影響最小的鹽類是氯鹽（ NaCl 、 MgCl_2 、 CaCl_2 ），土中的這種氯鹽含量甚至達到5%以上時仍不致危害道路。

按照А.И.ГРОТ的分析，各種鹽對於土壤性質的有害程度，可排列成順序如下：

$\text{NaCl} < \text{MgCl}_2 < \text{CaCl}_2 < \text{Na}_2\text{SO}_4 < \text{MgSO}_4$

必須指出，鹽漬土壤的工程性質不僅與其中可溶鹽的化學成份有關，同時也與土壤的顆粒大小，塑性高低，以及氣候水文條件有密切關係。

關於與鹽漬土工程性質有關的各項因素，到目前為止，研究的還是非常不夠，特別是土壤的物理力學性質和鹽量變化的關係，更是需要進行研究的。

（三）在鹽漬土地區修築路堤的經驗

可溶鹽在地面以下的分佈是隨著深度而變化的，這種分佈情況，在乾季和雨季又不相同；在乾旱季節中，鹽份因毛細管水的不斷繼續蒸發，而向地面集中，故地面的含鹽量最大，地面以下愈深處含鹽量愈小。此種情形，在雨季有所改變，雨水滲入地下時將一部分地面的鹽質，帶到地面以下，因而雨季中含鹽最多的上層往往在地面下數公分處。

在鹽漬土區修築路堤以前，應先自地面下取各層不同深度（例如：0~10公分，10~20公分，40~50公分，90~100公分）處的土壤加以化驗。若土中含鹽量超過某一容許限度時，則不能用作填土材料亦不宜做路基，在一般情況下僅上層的上有超過容許限度的可能，故若將上層的土剷除棄去則可得到含鹽量在

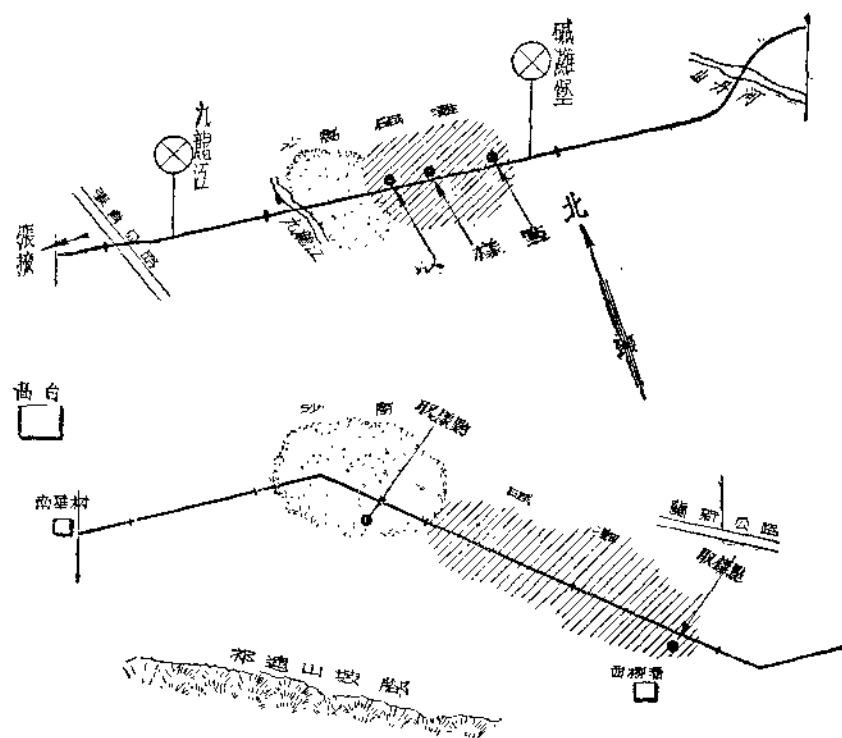
容許範圍以內的地基和築路材料。

爲了避免路堤築成後地下水中的鹽份再逐漸向路堤上層集中，必須採取預防的措施。可以採用粗砂層，以隔斷地下水與上部路堤的聯繫。也可以採用降低地下水位或提高路堤的辦法以使毛細管水達不到頂面。

(Ⅲ) 初步研究情況

(一) 張掖和高台地區鹽漬土的調查工作：

調查工作是在一九五三年八月初旬進行的。沿着蘭新鐵路所預定經過的張掖和高台地區有兩個「碱灘」——路線穿過張掖以東的碱灘長三公里，穿過高台以東的碱灘長一餘公里，在這兩個碱灘上分別進了十四處掘探，並在每個深孔中分層取鹽土樣品。



張掖和高台碱灘取樣地點略圖

同時並向蘭新公路局在張掖和高台地區的工務段以及當地居民進行訪問，瞭解碱灘的情況，從多次訪問以及在碱灘上實地觀察中所得到的資料，可以概述如下：

在調查時碱灘地區正值乾旱季節，地面鹽份身結，形成薄層（約1cm厚）的硬殼，這層表面以下的土壤是潮濕的，一般探孔在1.2公尺以下便達到地水面，個別探孔中的地水面有低於2公尺者。兩個碱灘都位於沙漠的鄰近，當經過沙漠時十分燥熱口渴，在碱灘中則顯然比沙漠的空氣舒適一些，因而可以肯定當時碱灘的蒸發量是很大的。據蘭州大學地理系主任的談話，在張掖一帶的年降水量，僅約10公分。蒸發量無詳細記載，但估計將遠超過一公尺以上。因此大部份的蒸發係來自祁連山（在碱灘以南）雪融後流入低地的地下水。

從碱灘地面的形狀和附近一段已被廢棄不用的舊公路上可以看到春季翻漿鬆軟的痕跡，在地面上的鹽質硬層是不平的，遍佈着數不清的羊蹄和牛蹄印，每個蹄印深達數公分。這是春季融雪時被羊群踏成的高

低不同形狀，進入乾季後却變得十分堅硬。調查時走在這種凹凸不平的羊蹄印上，甚至隔着皮鞋仍能感到足部的痛苦。

根據當地公路局養路工人的敘述，在碱灘區中的公路，每屆春季三月中便開始表現為軟而有彈性，汽車經過時路面如波浪般，隨著車輪起伏，最後在許多處裂開，而由路面下流出大量的泥漿，這種翻漿的障礙延續至五六月間始逐漸消除。爲了維持通車，公路局每屆翻漿的季節，便須動員大量的人力不斷搶修，並曾在過去兩三年中試用盲溝的辦法，企圖減少翻漿。所謂「盲溝」便是在路面下用石塊填築的暗溝，分佈很密，每條均約有一公尺寬，一公尺至二公尺深不等。這些盲溝對於減少翻漿的效果並不顯著，而且經過一兩年後便失去效用。

公路翻漿的地段，並不完全是地面鹽份最多的地段，有些地方雖然地面呈現很多鹽份，卻並不翻漿。也另有一些不在碱灘上，但却翻漿的個別地點。在春季翻漿搶修的過程中，挖到路面以下半公尺後，往往遇到尚未融化的堅硬凍層。

(二) 張掖和高台地區鹽漬土樣品的初步試驗結果：

初步試驗包括土壤的物理性質及其所含可溶性鹽類的化學成份。試驗結果如附表。

(IV) 研究結果的初步討論

從上述調查試驗的資料中，可以看出，在張掖和高台地區現有公路的翻漿現象是由於兩種原因造成的，凍害問題是翻漿現象的一個原因，土壤含鹽問題是另一個原因。茲分別討論如下：

(一) 凍害現象的分析：

凍害問題是由於冬季地面土壤凍結時，土壤孔隙中所含薄膜水較自由水的冰點低，地下水被吸引向低溫處集中，因而在地面附近的凍土中，形成多量冰塊，這些冰塊的累積量超過土壤原有的正常含水量，致使土壤中的孔隙漲開，結構破壞。這種作用在冬季中使地面堅硬隆起，但到春季化凍時，上層的凍土先融化，土中多量的水被夾在路面和下層凍土之間，使其附近的土壤含水量過剩，超過飽和狀態，因而變成泥漿。根據調查時所得的種種資料，張掖地區公路翻漿的情形完全符合於上述現象。

這種凍害現象爲什麼並不普遍發生，而僅只發生在某些地點，並且有不同程度的區別呢？進一步的分析必需聯系到氣候，水文，和土壤性質等三方面的條件。如前所述，凍害的形成必需有多餘的地下水向凍層集中，所以地下水源是一個必要的條件。（若土壤凍結時沒有外來的水源，僅有原存在土壤孔隙中的水份凍成冰，則其體積變化甚小，不能造成凍害。）但若僅有多量的地下水源也依然未必形成凍害，構成凍害的水份條件，必需兼包括下述三方面：

(1) 氣候條件：冬季氣候在零度以下時期長，地面以下的水凍結在較長時期內逐漸發展，並在每一種深度上停留相當長的時間，使得各層有充足的時間吸引多量水份，此乃形成凍害條件之一。我國西北大多數鹽漬土地區，均適合此項條件。

(2) 地下水條件：凍層接近地下水面，在毛細管水可能達到的範圍以內，因而可能有大量的水份向凍層聚集，此乃形成凍害的條件之二，在碱灘中地下水位距離地面近者僅一公尺，若路基高出地面不多，則凍層可能達到毛細管水的範圍。

(3) 土壤的條件：在粗顆粒土層，或高塑性而不易透水的粘土層中是不會發生凍害的。只有在細砂，粉土，砂質鹽礫或砂質粘土的土層中才可能發生凍害，因爲這種土中的薄膜水較多，孔隙水份凍結時的溫度差別較大而又較易透水。

從試驗結果中可以看出，高台地區的土樣大部份屬於細顆粒的粉砂，和低塑性的砂質鹽礫。張掖地區的上樣多屬於砂質粘土的範圍，因此都具有形成凍害的條件。

高台碱灘土樣分析結果表(一)

試樣編號	取樣深度 (公分)	物理性質		質		化學性質						附註			
		粒徑分配 %	天然含水量 W _n %	飽和度 C _v %	孔隙比 W _p	液性界限 W _L	塑性指數 W _p	可溶鹽總量 %	各種化學離子在可溶鹽中的百分數						
									Mg	Ca	SiO ₂		SO ₄	Cl	CO ₃
93	0-12	2 0.5 0.25 0.1 0.05 0.005 0.005 0.005	7.21, 42.7, 46.19, 0	1.908	23.7	16.5	7.2	13.31	0.11	2.63	0.01	27.86	35.65	0.29	
139	12-24	1.832.2	7.38, 35.1, 45.7, 66.22, 4	0.989	26.2	16.5	9.7	3.34	0.43	8.83	0.08	21.06	16.58	0.91	
05	24-36		12.41, 50.2, 60.32, 8	1.016	27.4	18.3	9.1	3.37	0.40	8.21	0.04	20.74	16.53	0.80	
96	36-48		15.91, 53.2, 66.11, 7	1.014	26.3	17.5	8.8	3.45	0.30	8.08	0.07	20.25	11.64	1.33	
07	48-60	1.724.3	31.01, 41.1, 40.2, 71.31, 6	1.208	29.0	14.5	14.5	1.33	0.05	4.79	0.3	11.58	23.26	15.47	0.54
地下水 196	220							28.1	67.5	123.8	17.0	441.2	637.8	164.1	13.4 8.4
131	0-12									3.47	0.62	8.35	0.43	39.82	20.62 0.77
132	12-24									3.00	0.57	8.61	0.23	48.13	13.36 1.10
133	24-36									3.21	0.94	7.60	0.53	51.90	13.71 0.73
134	36-48									2.31	1.40	11.74	0.30	49.07	13.38 1.03
135	48-60									1.86	0.97	13.44	1.02	54.20	5.73 1.26
136	60-72									1.62	1.00	15.83	0.90	53.56	6.78 1.51
137	72-84									0.31	2.73	2.71	5.06	38.19	15.35 14.35 0.08
地下水 197	240									27.40	57.0	80.1	12.06	12.7	432.8 446.5 22.3 8.5
46	0-12		5.01, 50.2, 76.14, 8	0.931						2.85	5.41	8.96	0.42	51.04	13.89 1.61
48	12-24		7.91, 62.2, 76.26, 0	0.838						1.45	3.17	18.24	1.52	56.71	6.53 1.30
50	24-36		22.61, 91.2, 61.87, 5	0.675						1.93	4.29	15.76	0.62	54.03	0.21 1.11
52	36-48		21.61, 87.2, 64.79, 8	0.715						1.69	3.82	17.54	0.89	58.88	7.63 1.36
53	8-60		28.71, 92.2, 65.98, 2	0.775						1.45	3.40	21.37	0.83	61.64	5.93 1.58
地下水 210	800 南 40公尺														

高台碱灘土樣分析結果表(二)

編號	取樣地點	取樣深度 (公分)	物理性質			化學性質			可溶鹽總量 %	各種化學離子在可溶鹽中的百分數					地下水的pH值	附註				
			粉徑分配 2 _{0.5} 0.25 0.1 0.05 0.5 0.25 0.1 0.05 0.005	天然含水量 W ₀ %	比重 γ	飽和度 G%	孔隙比 e	液性界限 W _L		塑性界限 W _p	超塑性界限 W _u	Mg	Ca	SiO ₂			SO ₄	Cl	HCO ₃	CO ₃
82	CK27 +600	12—24	0.5 5.211.0 47.9	35.418.51.732.7258.4			0.86336.319.816.5	0.092.93	15.299.28	21.20	3.92	58.762.02								
83	"	24—36		15.51.732.6952.4	0.797			0.212.78	16.304.37	47.98	3.02	18.41								
85	"	36—48		15.91.832.6861.1	0.698			1.121.23	3.500.31	59.94	0.56	2.09								
89	"	48—60	2.216.135.7 39.3	6.718.1 2.67			23.814.111.7	2.051.12	16.140.44	44.81	0.50	1.58								
地下水 201	"	r30						4450 mg/l	96.3	341.232.0	269.2	379.2	109.2	0	8.1					
103	CK31 +400	0—12	0.6 3.433.4 55.7	6.9 4.4 2.69			22.615.5 7.1	0.56												
104	"	12—24		11.11.872.7049.8	0.60324.113.310.8			0.39												
105	"	24—36	0.2 0.8 7.1 86.6	5.310.8 2.69			21.713.7 8.0	0.21												
107	"	36—48		11.51.662.6838.5	0.80021.316.8 4.5			0.18												
108	"	48—60	4.620.9 9.5 22.2	42.827.81.69			30.116.413.7	0.31												

砂土

張掖碱灘土樣分析結果表

試驗室編號	取樣地點	取樣深度 (公分)	物理性質				化學性質				各種化學離子在可溶鹽中的百分數	地下水的 pH 值	附註									
			粒徑分配 %		天然含水量 W _n %	比重 γ	飽和度 G %	液限 W _L %	塑限 W _P %	塑性指數 W _L - W _P				可溶鹽總量 %								
			2 ~ 0.5	0.25 ~ 0.1 ~ 0.05 ~ 0.005											0.05 ~ 0.005							
26	P. K. 221+ 800	0-12	1.6	7.125.9	63.0	2.4	10.42	0.22	68.60.1	0.464	28.2	17.3	10.9	2.85	0.69	10.06	0.08	34.98	25.70	1.04	0.12	大部 爲砂， 比重 是砂中 的粘土 部分
27	" 24-36	17.9	2.59			24.8	13.7	11.1					0.10	0.51	4.60	±.04	7.01	3.87	67.33	1.32		
28	" 36-48	14.01	462.72	42.8	0.890								0.08									
29	" 48-60	22.21	822.69	74.1	0.806								0.11									
30	" 60-72	25.41	952.72	92.2	0.750	25.0	18.4	6.6					0.07									
31	P. K. 100-112	0.3	7.632.5	36.3	23.323.51	982.72	91.8	0.697	39.5	17.8	12.7		0.07	653	46.5	52.7	11.0	197.0	96.2	118.0	3.3	8.0
地下水池 205	P. K. 221+ 800 南 40公尺	200												mg/l								
34	P. K. 222+ 800	0-12	1.0	2.011.9	77.8	7.325.71	692.68	69.5	0.992	36.4	21.5	14.9	1.39	0.57	0.66	0.22	19.34	37.12	4.86	1.04		
37	" 12-24	23.51	1082.68	65.4	0.972	34.5	20.1	14.4					0.39	1.49	1.40	1.03	30.00	12.46	22.54	1.18		
39	" 24-36	7.425.21	782.69	76.0	0.892	31.0	16.5	14.5					0.38	0.87	1.92	1.97	34.70	13.79	28.22			
41	" 36-48	31.11	802.69	87.3	0.959	37.7	22.2	15.5					0.38	1.35	0.17	1.58	33.59	11.47	14.25	3.81		
43	" 48-60	30.31	942.66	102	0.787	41.4	21.5	20.2					0.42	1.94	2.40	1.32	36.62	13.76	19.66	0.31		
44	" 100-112	0.6	1.4	5.6	80.9	11.531.61	922.69	101	0.843	40.4	22.8	18.0	0.48	1.83	4.17	1.04	10.13	5.06	15.96	0.41		
地下水池 206	P. K. 222+ 800 南 500 公尺	130												1825	94.0	97.3	19.0	757.6	213.1	144.6	2.6	8.1
地下水池 207	P. K. 222+ 800 南 40公尺	103												mg/l								
45	P. K. 223+ 800	0-12				23.81	652.69	62.9	1.019	30.9	25.8	11.1	0.72	7788	180.0	156.4	20.0	967.1	622.0	227.9	15.1	8.1
46	" 12-24	26.01	652.72	65.8	1.076	34.9	24.4	10.5					0.14	5.91	4.65	4.48	13.51	5.60	58.38	0.94		
48	" 24-36	28.11	652.66	70.1	1.067	36.5	25.3	11.2					0.10									
50	" 36-48	26.81	752.72	75.1	0.971	38.7	23.4	15.3					0.22									
52	" 48-60	27.71	812.66	84.3	0.875	34.6	20.3	14.1					0.21									
53	" 100-112	10.439.01	872.66	106	0.977	49.3	27.2	12.1					0.21	325	25.5	45.5	17.0	46.9	18.9	169.9	8.1	8.1
地下水池 210	P. K. 223+ 800 南 210 40公尺	160												mg/l								

從上述討論中可以看出，在同一地區內，可能因土壤顆粒粗細的不同，而有發生凍害與不發生凍害的區別，又可能因路堤高低不同而有發生凍害與不發生凍害的區別。必需指出，凍害現象在碱灘以外的地區也可能發生。但在碱灘中却因地下水位距地面近的原故，而特別容易發生。同時碱灘中所含的鹽份必然會使地下水的冰點降低，薄膜水的厚度也可能因含鹽而不同，這些因素使得鹽土的凍害更為特殊。

(二) 土壤含鹽問題的分析：

路堤土壤中的容許含鹽量在各種鹽土中是不同的。如前所述，最惡劣硫酸鹽土的含鹽量需要限制在1%以內，以氯鹽為主的鹽土，則可能容許到5%，由於在這方面的研究資料還不充足的緣故，在目前還不能更進一步作出各種鹽土中容許含鹽量的詳細規定。但僅從上述已有的資料，可以對張掖和高台地區碱灘的情況進行如下的分析。

(1) 從試驗結果中可以看出，這兩處碱灘土壤的鹽質中所含 SO_4 根約為 Cl 根的一倍，因而係屬於前述第三類含氯的硫酸鹽土。這種鹽土在工程性質上較硫酸鹽土較佳，但比氯鹽土為劣，因而可以估計用這種土築路基時其容許含鹽量界於5%和1%之間。

(2) 從試驗結果中又可以看到，這兩處碱灘的大部份僅地表一公寸以內的土層中含鹽稍多(2%~3%)，一公寸以下絕大部份土層的含鹽量是極小的(小於0.5%)。

(3) 其中情況比較惡劣的地點是在高台地區ek20~ek23之間，在這一帶地面下半公尺內的土壤含鹽量約為3%左右，在地面下七公寸處含鹽量始降至1.5%。

(4) 土樣第82,83,85,89號係在沙漠中採取，這個地點含鹽量的分佈，是上面小而底部大，與一般碱灘鹽份的分佈規律相反，這個現象可以解釋為沙漠中的毛細管作用小而溫度高，地下水在深處蒸發得較多，故而鹽份也集結在深處。

(三) 凍害現象與含鹽問題的對策：

(1) 防止凍害的對策：

防止凍害的方法，應當是設法取消其發生的原因。在前述的三種原因(氣候，水文，土壤)中只要取消其中任何一項，便可以避免凍害。對於路堤設計，最切實可行而又經濟的方法有兩種：第一種方法是提高路堤以使凍層離毛細管水的範圍。第二種方法是採用粗顆粒層以隔斷地下水與路堤上部的係系。在這兩種方法中任選用一種即可。

當採用第一種方法時，需要調查地下水位在冬季的高度，並需要正確地估計土壤的毛細管水高度以及凍層的厚度。例如：倘估計一段土中的毛細管水作用高度小於2公尺(參照蘇聯1948年工業與民用建築物天然地基設計規程中第三表的精神)，並估計張掖地區凍層的厚度為1公尺，則當地下水而距地面一公尺時，使路基頂面高出地面2公尺，即可避免凍害。實際上可能不需提高這麼多，以後將另討論。

當採用第二種方法時，必需注意設計和施工過程中的技術問題。首先，粗顆粒層必須水平鋪設於地下水面以上，要能完全遮斷路堤凍層和地下水的係系。其次，粗粒層的上下兩面須加反濾層，以防止細粒土擠入粗粒層中使其失效。

在進行上述設計時，必需充份注意到地下水位可能發生的變化，以及凍層厚度的變化。在張掖地區的井水面冬季高而夏季低，因此不能僅根據夏季的調查資料進行設計。甚至還有必要適當地考慮將來為發展農業改良鹽土而可能引來大量灌溉水的影響。(這種發展是在意料之中的)關於凍層的厚度，在路堤中也將較其他地面下的凍層更厚些，因為路堤突出於地面以上，受到更多的寒流。

可以再舉出一個實例以證明上述的分析。在蘭新公路584公里附近有一段被廢棄了的舊公路，路堤高約一公尺，在路面上遺留着被汽車壓成的波浪形痕，兩年前公路局在距舊路邊十公尺處另修了一條高約三公尺的新路堤。據說這條新路堤並不翻漿而保持良好的狀態。

(2) 含鹽問題的對策：

含鹽問題的對策有兩方面：一方面須要確定路堤土壤的容許含鹽量，以便棄去含鹽過多的土壤，選用含鹽不多的土來築路堤。另一方面須要防止鹽份向路堤上部集結，以免路堤築成後鹽份又漸增大。這兩方面須要同時兼顧地考慮。

土壤容許含鹽量的數值，如前節中所分析，是界於5%和1%之間的。在張掖和高台地區大部份的鹽灘中，（除去高台的ck20至ck23一段外。）若將地面剷除一公分，便可得到含鹽量小於1%的上層。

在高台的ck20至ck23地段中，若將地面剷除半公尺，則含鹽量將小於1.5%。若僅剷除一公分，則含鹽量約為3%，這樣的含鹽量對力學性質影響的程度，尚待繼續研究。但同時注意到前述的蘭新公路384公里處新建的高路堤便在ck22的附近。根據公路局所述的改善經驗，初步估計這裡的含鹽量也是可以容許的，但這個問題在確定之前還應作更進一步的調查。

關於防止鹽份繼續向路堤上部集結的措施，可以採用提高路堤的方法。也可以採用粗粒隔斷層的方法。茲不再述。

（四）進一步研究的方向；

由於鐵路新綫正逐漸進入許多新的鹽漬土地帶，設計工作者需要能更確切地瞭解鹽漬土壤的工程性質。關於這個問題，已經有了如上述的許多資料，但在已有的資料中，原作者也指出其不成熟性，並指明需要進一步的研究。鹽漬土是有區域性的，因此更需要對我國西北的廣大鹽漬土地區多加以注意。

鹽漬土壤的工程性質包括着許多不同的問題，需要研究的範圍是十分廣闊的，在一方面這些問題可以聯系到物理化學的基本作用，在另一方面又聯系着多種土壤和多種鹽類。因此進一步研究的工作必須從各種問題中選擇目前所最迫切需要而又可能開始的項目進行。對於鐵路來說，最急需研究的項目是用含鹽土鹽夯築路堤工作中的一些具體問題，如鹽土路堤的容重密度最佳含水量，夯實後的沉降係數，以及抗剪強度等。這些研究試驗的工作將在1954年度內開始進行。

主要參考資料

- (1) В. В. Егоров Исследование Засоленных Почв В Советском Союзе (土壤學報, 1953 年 8 月)
- (2) Н. М. Позуяк, Строительство Автомобильных Дорог на Засоленных Грунтах, Дориздат 1952,
- (3) Академия Наук СССР, Проектирование и Возведение Земляного Полотна Железных И Автомобильных Дорог, 1950.
- (4) Е. В. Аринушкина: Валовой Химический Анализ Почв и Грунтов
- (5) 大杉繁著：一般土壤學。

後 記

在本文付印的階段中，我們又得到蘇聯最新出版的一本書（Бозрук, Мотылов, Грот, Знаменский, Иерусалимская: Строительство Дорог на Засоленных Грунтах и Подвижных Песках; 1953）。這本書報導了蘇聯在最近幾年間對於鹽土研究的新成果，更進一步地證實了上述的觀念，並提出一些具體的對策。我們準備在以後的鐵道研究通訊中作進一步的介紹和討論。