

工事施工と現場試験室の 關 聯 性 に 就 いて

正 員 株式會社大林組札幌支店 齋 藤 鼎

I. 緒 言

現場に試験室を設けて施工を常に規正しつつ、工事を進めると云う方法は、米國に於ては既に土木工事の常識となつて居る事であつて、我國に於ても最近の大規模な土木工事では試験室を設ける様になつて來た。

昨夏以降施工された米軍基地舗装工事に於て、我々は現場試験室を設置し種々の現場試験を行う事によつて施工上に多くの助言を與えて來た。茲に我々の経験した種々の資料に基いて、當工事に於ける試験室の活動に就いて述べると共に施工に及ぼす効果に就いて説明せんとするものである。當工事に於ける規格は A.A.S.H.O. (American Association of State Highway Officials) の標準示用書に準據したものであつて、試験方法は A.S.T.M. (American Society for Testing Materials) の標準方法に従つた。

2. 土性試験

當工事は舗装工事である關係上路盤工事とコンクリート工事とに大別され、隨つて之に伴う試験も亦土性關係の試験と Concrete 關係の試験に分けられる。土性試験に關して示用書に規定されて居る事項は、次の通りである。

(1) Compaction Test に於ける Maximum dry density が 100 Lbs/cuft 以上である事。

(2) Plate Bearing Test に於ける "K" value が 300 Psi 以上である事。

(3) 輾壓地盤の density は Compaction Test に於ける Maximum dry density の 95% 以上である事。

工事開始に先だち現場の土讓をその儘施工して、此の規格に合致する路盤を得らるるや否やの判定を北大眞井教授に依頼した處、此の附近一帯は火山灰地帯であつて地耐力は相當あるが void が多くて Maximum dry density が 100 Lbs/cuft に達しないと云う事が分つた。それ故附近から、brown silt (所謂赤土) を運搬して之を binder として混合する事とした。此の混合割合に就いて實驗した結果は Fig-1, Fig-2 の如くである。Fig-1 に於て火山灰のみを繰返して用いる場合には (1) の如く density は 110 Lbs/cuft を越す大きな値を示して居るが之は突固めを繰返して居る中に粒子が次第に破壊されて

細粒となり、それが void を充填する爲に density は大きくなるものと考えられる。各突固めの際に試料を新しい物と交換して試験した場合は (2) の如く density は 96 Lbs/cuft が最大である。Roller で輾壓する場合には粒子は左程粉碎されないから、實際は (2) の場合と似たものであると考えるのが妥當である。Fig-2 の C. B. R. Test では、火山灰の

みでも相當の地耐力を有する事が示されて居る。

一方、冬期に於ける路盤の凍上問題を考えるならば赤土を多量に混入する事は好ましくない。それ故 dry weight にて 85:15 (即ち火山灰 85 に對し赤土 15 の割合) と云う比率を採用する事とし、現場施工の爲に現地の時含水量を加えて wet weight の比に換算し更に自然状態密度より wet volume の比に換算した結果 3:1 と云う數値を得たので、施工の際には盛土厚並に truck 台數によつて此の混合比率を確保する様にした。6" 厚の基層盛土が終ると tractor にて plough, disk harrow, 等の農耕機械を牽引せしめて混合作業を行い、均等な状況になる迄充分に攪拌する。併し廣い面積になるとどうしても平均に混合されぬので、後には他に混合場所を設けて其處で混合された土を運搬盛土して路盤を築造する様にした。かくて混合作業が終ると現場から sample をとり、ピクノメーターで比重を測定して火山灰及び赤土の比重から混合率を算定し、85:15 の比になつているや否やを check する。次に混合率の check が終ると此の sample にて Compaction Test を行う。之は Proctor Test を修正した modified A.A.S.H.O. method によつた。此の試験により Maximum dry density が 100 Lbs/cuft 以上になつているや否やを check すると同時に、Maximum density を得る爲の最適含水比、Optimum moisture を求めて輾壓施工の際の参考とした。

次いで、混合を終つた現場土の含水比を測定し、Optimum moisture 下に輾壓する爲に過乾燥の場合には撒承して適當な濕度を與え、濕潤に過ぎる場合には Optimum moisture になる迄輾壓を待たしめた。輾壓に當つては含水比が非常に重大な要素を占めて居るのであつて、當現場に於ても、降雨のあつた後に地盤の乾燥を待つ餘裕が無かつた爲に、濕潤に過ぎる状態の儘で roller を通したところ、何度 roller をかけても地盤は固らず、やがて路盤の乾燥するにつれて表面に龜裂を生じて來た爲再び掘り起して最初からやり直した事もあり、今更の如く理論的施工の必要を痛感した次第である。即ち或る含水比に對してはその状態 demands 一定の最大密度があるのであつて、更にそれよりも高い密度を得ようとして輾壓を續けると剪斷龜裂を生ずるものである。したがつて最大密度に輾壓せんとするにはその土の 'Compac-

tion Test を行い、含水比と密度との関係曲線から Maximum density を得る含水比で輥壓せねばならない。輥壓が終つて路盤が出来上ると Plate Bearing Test を行つて地耐力を試験する。Plate Bearing Test は C. B. R. Test と共に設計に當つて concrete slab の厚さを定める爲に行つて試験であるが、當現場に於ては設計に當つて豫定された地耐力が、施工に際して確保されるや否やを check する意味にて行つた。Plate Bearing Test は A. A. S. H. O. の規定によれば直径 30 inch の圓板上に荷重をかける事になつて居り、荷重としては trailer に bulldozer 等を積載して用ゐるが、當現場に於ては之等の機械が利用出来なかつた爲に特に直径 8 inch の圓板を用ゐる事とし、荷重としては土砂積載の truck を使用した。Fig-3 の如く truck の後部を I-beam にて受け兩端の oil jack を徐々に下げると共に荷重を圓板上にかけてゆくのであつて、圓板上の pressure gage にて荷重を読み、更にその時の沈下量を固定點から圓板に接觸させてある。dial-gage で読み、此の兩數値を圖上に plot して "K" value を求めるのである。Fig-4 は當現場に於ける一例であつて、表面並に 6 inch 下、18 inch 下の 3 種を示している。勿論 roller の壓力が下方に迄及ばないので、下層程地耐力は弱くなつて居る。

"K" value とは地盤を 1 inch 沈下せしめるのに要する力であつて圖上の 0.05 inch 沈下した時の荷重から算出する事になつて居る。即ち 0.05 inch 沈下した時の荷重を 20 倍すればよい事になる。載荷板の面積の大小は地耐力には何等關係が無い様に考えられるが、實際には載荷板の沈下に際して周邊に剪斷抵抗が働く爲に此の剪斷抵抗力の大きいもの程、地耐力は大きい値となつて示される。即ち剪斷抵抗は周邊長に比例するから周邊長の長いもの程、同一面積に對して大きく表われる。換言すれば單位面積當りの周邊長の大なる載荷板を用ゐる場合程、地耐力は大きい數値となつて示されるわけである。今直径 8 inch の圓板と 30 inch の圓板とを比較してみると次の通りである。

8 inch 圓板：

$$\text{周長 } L = 3.14 \times 8 = 25.12 \quad \text{面積 } A = 3.14 \times 16 = 50.24 \\ L/A = 0.5$$

30 inch 圓板：

$$\text{周長 } L = 3.14 \times 30 = 94.2 \\ \text{面積 } A = 3.14 \times 225 = 706.5 \quad L/A = 0.13$$

従つて直径 8 inch の圓板による "K" value は正規の 30 inch 圓板による場合よりも周邊剪斷力の約 4 倍に相當する力だけ大きく示されて居る事になる。

最後に輥壓を終つた地盤は、地耐力を試験すると同時に直径 4 inch 容積 1/30 cuft 圓筒型の試料採取器 (Sa-

mpler) にて抜取試験を行い、輥壓地盤の dry density が Compaction Test に於ける maximum dry density の 95% 以上になつてゐるや否やを check せねばならない。

3. コンクリート試験

concrete の配合に關しては slump 2 inch 以下、W/C 45% 以下、28 日曲げ強度 700 Lbs/sq in 以上と云う事が規定されて居り、之に適合した配合設計を施工者側で決定する様になつてゐる。それ故此の規格を満足する配合設計を北大板倉教授に依頼した結果、W/C = 38%, G/S = 2.3, 1 m³ 當り Cement 6.2 袋と云う數値を得、此の配合比による test piece の實驗強度は曲げで、 $\sigma_3 = 445 \text{ psi}$ $\sigma_7 = 570 \text{ psi}$ $\sigma_{28} = 746 \text{ psi}$ と云う數値を示した。此の 28 日曲げ強度 700 psi と云う數値は meter system に換算すれば 50 kg/cm²、曲げ強度は壓縮強度の 15% と假定すれば必要な 28 日壓縮強度は 330 kg/cm² 以上という事になり、我國の一般的標準よりも相當高い規格である事が分かる。此の配合比によつて mixer を運轉した結果、練上り concrete は若干荒々しく、表面仕上げが困難ではないかと云う米軍 Inspector の勧告により水並に Cement を若干増して結局次の如き配合とした。W/C = 45%, G/S = 2.3, Cement = 6.5 袋、此の配合によれば Concrete 1 m³ 當りの材料は、Cement 6.5 袋、砂 0.4 m³、砂利 0.83 m³ にて容積比で 1:1.8:3.8 となる。米國に於ける Concrete 工事では、骨材は 4 種類程度に篩別けた物を各粒度別に計量し、常に一定の粒度として用いて居る爲に骨材の粒度に關しては特に嚴重である。當現場では貨車の入着毎に篩試験 (Sieve Test) を行つて一定の粒度の骨材を搬入する様に努めた。又 Concrete 工事中は毎朝砂及び砂利の含水量を測定し、之より規定の W/C になる混合水の量を決定して常に同一混合状態を保つ様にした。作業の迅速を期する爲に砂にはルシヤテリエフラスコを用い、砂利は布で拭う方法によつて表面水の量を求めた。表面水が測定されたら直ちに混合水の量が求められる様に Fig 5 の如き計算圖表を作製して利用した。尚作業中は隨時 slump をとつて水量を適度に加減せしめ workability の等しい Concrete を造る事に努めた。又、強度を check する爲には各 mixing plant 毎に曲げ強度用 4 本壓縮強度用 3 本の test piece をとつて試験室の水槽で標準養生した。之等の test piece は北大工學部に搬入して強度試験を行つて來たが、その結果は平均して $\sigma_3 = 450 \text{ psi}$ $\sigma_7 = 550 \text{ psi}$ $\sigma_{28} = 750 \text{ psi}$ と云う數値を示した。尚 Concrete 工事に關しては Table -1 の如き report を作成して混合状態を記録し、後の參考とした。Concrete 工事は 11 月に入ると氣溫低下の爲に養生温度の確保に困難する様になつて來た。示用書では外氣溫 35°F 以下での打設は禁止して居り、又、寒

冷時には 50°F に 72 時間保つ様に要求して居る。したがつて、11月に入つてからはボイラー 2 基を備えて骨材及び混合水を加熱し、Concrete が硬化する前に凍結せざる様に注意した。一般に混合水の温度を 60°C 程度に上げて打込 Concrete の温度は 15°C 程度で、之も硬化する迄には 5°C 前後に低下してしまい冷却の爲に硬化の發熱は殆んど見られない状態であつた。養生方法としては最も危険な初期硬化前には横で作製した屋根状の覆いをかぶせ、その内部には 15feet おきに 50kw 棒状電熱器又は 500w 電球を設備して加熱すると共に外部は 5 枚の藁にて被覆した。使し此の屋根をかぶせる時には既にその内に入る空気は 0°C 程度の低温となつて居り、而も空間が大きくて空気量も多い爲に、電熱器で加熱しても内部の養生温度はそれ程上らず好ましい結果は得られなかつた。次に初期硬化が終ると帯で表面仕上げをし、再び屋根で覆つて一晚を過し翌朝硬化後藁 5 枚

をちかに敷き並べて 2 週間養生した。11 月以降は毎日外氣温並に養生温度硬化温度を測定し Concrete の凍結に注意した。寒冷時の Concrete 工事には鹽化カルシウム等の薬品を混入する方法が考えられるが、示用書で之等化學薬品の使用を禁じている爲に使用出来なかつた。電氣養生に就いても計量してみたが 1 m³ 當り 5 KVA の電力を要するとすれば、1 日 300 m³ を打設して居る當現場では 3 回に切替えて用うるとしても 500 KVA を要する事となり、到底その電力が得られぬ爲に之も利用出来なかつた。併しその可能性を立證する爲に 1 部分に通電すると共に他に實物模型を作り之に高爐セメントを用いて比較してみた。電極は 8 番線を用い之を 2 本づつ兩端の鐵筋に固定、異種電極間隔は 3 feet とした。但し通電部分は幅 15feet、厚 7 inch、長 20~23feet である。配合は兩者共に鋪設 Concrete と同じで同一氣象狀件の下で行つた。その結果を示せば次の通りである。

	初 電 流 Amp/m ³	最大電流 Amp/m ³	消費電力量 KWH/m ³	最大消費電力 KW/m ³	温度上昇率 °C/Hr
日本セメント (舗高爐セメント (模	14.177	18.147	45.68	3.72	1.50
型)	8.933	16.380	33.73	3.44	1.66

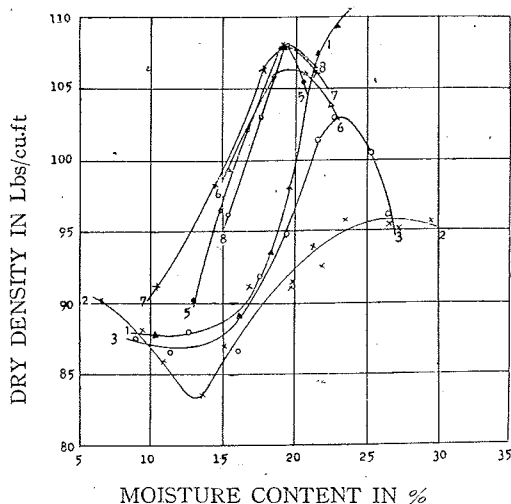
電氣養生によれば通常の場合硬化温度 5°C 程度のものが最高 23°C に迄上昇し、極めて良好な結果を示す事が分つたが、實施出来なかつたのは残念である。

4. 結 言

以上述べた如く現場試験室は工事を合理的に施工するのに不可欠のものである。合理的な施工を行えば確實な施工が爲されると同時に無駄な作業が省かれる。即ち設計者の側から考えてみた場合、如何に理論的に設計された工事でも之が正しい加減な施工をされたのでは設計には何の意味も無い事になる。設計が精密になればなる程施

工にも理論的な精密さを必要とするのである。又一方施工者の側に於ても合理的な施工を行えば手直し等の無駄な作業が省かれひいては工費を節減する一因ともなると考えられる。近時施工機械の導入により施工法も近代化されて來たが、我々は偉大なる機械力に目を向けると同時に先づ足もとに目を向ける事も必要である。理論に基いた施工こそ科學的施工の根本をなすものであつて、現場試験の體驗より特に今後の施工技術者の心すべき事であると感じた次第である。

Fig-1 COMPACTION TEST



1. White Volcanic sand (used repeatedly)
2. White Volcanic sand (used in each run change)
3. Brown Volcanic sand
5. Volcanic sand 85+Brown silt 15 (mixture)
6. " 90+ " 10 "
7. " 85+Black silt 15 "
8. " 90+ " 10 "

Fig-2

C. B. R. TEST

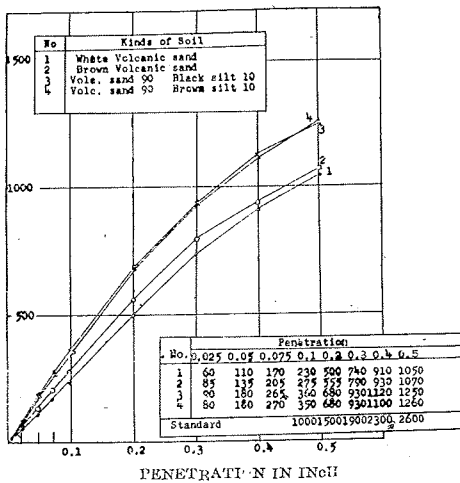
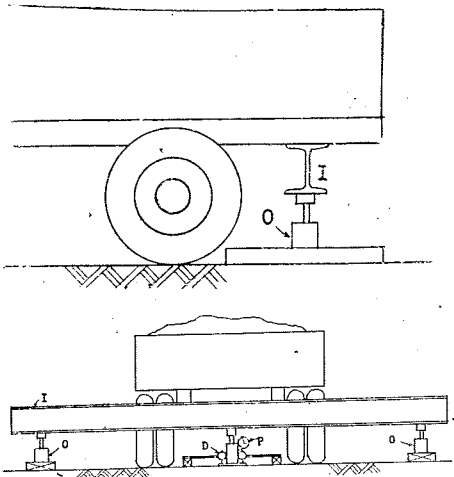


FIG. 3 PLATE BEARING TEST



Remarks ; I : I-Beam P : Pressure Gage D : Dial Gage O : Oil Jack

HEADQUARTERS FIFTH AIR FORTH ENGINEER SECTION

Base _____ Date 18 Nov 1950 Shift Day _____ Time 12 Hours Plant A

Screen Analysis :

Fine Aggregate

Size	Amount Retained	Percent Retained	Percent Passing	Spec
No. 4	0.04	2	98	95-100
8	0.23	13	87	80- 90
16	0.42	24	76	60- 80
30	0.77	44	56	30- 60
50	1.33	76	24	12- 30
100	1.70	97	3	2- 10
	1.75			

FIG. 4 PLATE BEARING TEST

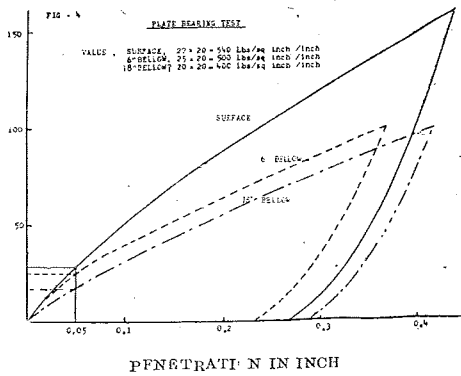
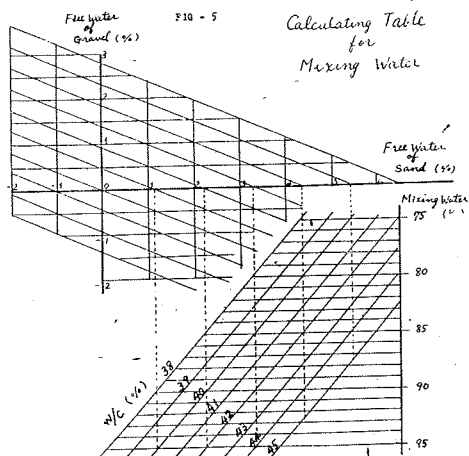


FIG.-5 Calculating Table for Mixing Water



Coarse Aggregate

(Fineness Modulus 2.56)

Size	Amount Retained	Percent Retained	Percent Passing	Spec
2 1/2"	0	0	100	100
2"	0.37	2	98	95-100
1"	5.85	32	68	35- 70
1/2"	12.65	69	31	10- 35
No. 4	17.60	96	9	0- 5
	<u>18.33</u>			

	<u>No. of Full Sack</u>	<u>No. of Empty Sack</u>
a. Start of shift	75	0
b. Full sack brought in	903	0
c. Empty sack removed	0	899
d. End of shift	88	0
No. of Sack used	890	890
No. of batches <u>178</u>	Sacks per batch <u>5</u>	

Moisture Content of Fine Aggregate :

Weight of sample & pan-wet	82.8
Weight of sample & pan-dry	79.6
Weight of water	3.2
Weight of pan	32.5
Net Weight of sample-dry	47.1
Percent moisture	6.8%
Batching : No. of Bins in Hopper	<u>2</u>

Quantities per batch were set as follows ;

Coarse Aggregate (Size No. 4-2 1/2" Weight 2361.92 Lbs)
 Fine Aggregate (Size No.100-No.4 Weight 1067.49 Lbs)
 Sack of cement 5 Gals of water 29.23 gal
 Gals per sack 5.84 gal (Including 7.84 gal for absorption & free water)

Air entraining agent

Weight _____ % of cement _____
 Name _____ Manufacturer _____

Yield per batch 1 cu yd No. of batches 178

Total quantity mixed 178 cu yd

Remarks :