

Experiences fondamentaux des travaux de terrassement en hiver

Jun'ichi Nishikawa

L'Institut de la Recherche de l'Ingénierie Civile de Hokkaido, Japon

Abstrait

Hokkaido, l'île plus du nord du Japon, en hiver reçoit de la neige grosse et des températures basses. Dans les principales cités de Hokkaido, les moyennes températures en Février placent entre -3°C à -8°C qui signifie un temps assez frais. En hiver, les travaux de terrassement sont évités dû à ce temps de Hokkaido. Comme les auto-routes de Hokkaido se présentent par toute la partie de l'île, en hiver les travaux de terrassement avaient essayés pour compléter la construction dans la période de temps donnée. Cependant, la qualité de ces remblais est normalement insuffisante, et paraît d'être provoqué/conditionné par la compactage faible causé par le sol congelé qui se mélange et augmente le contenu d'eau dû à la mixture avec la neige.

En ordre d'améliorer la qualité du remblai construit en hiver, la construction-testage avait réalisée dans le test-champs près de Sapporo. Les trois types de sol furent utilisés dans cette testage ; la cendre volcanique, la sable argileuse et l'argile de la sable. Les trois types de remblais furent construit pour chaque sol ; le premier fut construit en automne et les autres deux en hiver. La dimension de ce remblai fut de 4×4 m dans sa partie du sommet et de 3m de la grandeur. Un type de construction d'hiver permit au sol congelé de mélanger avec le remblai, alors que un autre type d'éviter ça.

Le degré de la compactage du remblai d'hiver fut moins que dequel d'automne. Ce fait fut causé par une compactage insuffisante due à la présence du sol congelé. Cependant, parmi des cases des travaux de terrassement en hiver, la compactage sans le sol congelé executa meilleur que celui-là avec le sol congelé. Ce fait suggère que une bonne compactage peut être attendue des travaux de terrassement en hiver, quand le sol congelé est exclu autant que possible.

Les remblais avec le sol congelé construs en hiver, avait augmentés sa densité au cours d'été suivante, et avaient déformés. Partout, le remblai du sol de contenu rude/vulgar n'avait pas démontré tant cettés changes.

Les résultats de cette construction-testage avaient sommarisés comme les suivants :

- 1) Exclusion du matériau des remblais du sol congelé pour prévenir la diminution de la compactage, et la déformation du remblai fut assez limité.
- 2) Le sol du contenu vulgar/rude est relativement adéquat pour les travaux en hiver.
- 3) Le sol des remblais construit avec le sol congelé reste gélé à l'intérieur pour une longue période.

Le déformation des remblais continue au même temps que ce sol congelé graduellement se dégele.

1. Introduction

Hokkaido, l'île plus du nord de l'archipel Japonais, a de boulle de neige grosse et des températures basse en hiver. Dans les principales cités de Hokkaido, les moyennes températures en Février placent entre -3°C à -8°C qui signifie un temps assez frais. Dans les regions froides comme ça, en hiver les travaux de terrassement sont évités ainsi que les remblais construit en hiver avaient des problèmes qualitatifs comme l'existence des hameaux en printemps.

Dans les régions froides du Japon, cependant, les travaux de construction de l'escalade large récemment exigeant des périodes de construction longues, avaient récemment tendance à augmenter en nombre suivant la construction des express-routes. En conséquence, les tentatives des travaux de terrassement en hiver doivent être faites. De plus, dû au fait que est avantageuse l'exécution des travaux de la course et des conduites d'excluse pour les remblais des rivières pendant de la saison d'eaux du niveau bas, i.e., en hiver, est désirable de construire des remblais de l'accompagnement aussi en hiver. Néanmoins, il y a beaucoup des situations quand les remblais n'ont pas des qualités satisfaisantes dans ces conditions météorologiques comme l'Hokkaido en hiver. Soit-disent, c'était causé par le contenu de l'humidité élevée due à la mixture de la neige qui se présente en conséquence de la compactage insuffisante provoquée par la mixture du sol congelé avec les matériaux de la remplissage.

Tenant comme le but de garantir les travaux de terrassement de la qualité satisfaisante pendant la période d'hiver, le comité fut autrefois établi au Japon pour les intentions de la recherche. C'est difficile d'affirmer que les résultats de la recherche furent utilisés complètement ainsi loin. Une des raisons est la manque du contrôle de l'exécution établi et des méthodes de contrôle de la qualité des travaux en hiver.

L'auteur et son groupe de la recherche étaient étudié les méthodes de l'investigation/de la recherche qui surpasse la possibilité de travailler et l'efficacité économique, en ordre d'améliorer la qualité des remblais des travaux de terrassement pendant la période froide. Dans ce contexte, l'étude sur les caractéristiques du sol congelé avait antérieurement menée. La recherche avait aidé l'obtention des résultats suivant, parmi les autres :

- 1) Pour les remblais dans les conditions froides, le contenu d'humidité du sol sera le plus bas autant que la densité de la compactage devienne plus élevée.
- 2) Même si le sol congelé est mélangé, la force de la compactage après le dégel n'est pas très différente du sol compacté aux températures normales, et la densité est aussi longue que la compactage à la température est obtenue.
- 3)

Tenant en considération les résultats susmentionnés, les tests des remblais à l'escalade totale avaient réalisés dans les faubourgs de Sapporo. Ce rapport fait la lumière sur les résultats d'observation de la première saison.

2. Les détails de l'expérience

2.1. Le résumé de la cour/yard du champ

Le site du test, localisé en Tomakomai au sud de Sapporo, a d'une superficie d'environ de 2.5 hectares. Selon les conditions météorologiques de ce secteur en hiver entre 2000 et 2001, la profondeur maximale de la neige fut relativement petite en Hokkaido à 30cm ou moins, mais il se vérifie les températures plus basses de -20°C ou sous.

Les Figures 1 et 2 indiquent le plan-disposition et le dessin détaillé de ce remblai expérimental, respectivement, alors que la Photo 1 décrit les conditions après-remblai. La largeur de la couronne du remblai mesure 4m en ordre de permettre le fonctionnement des machines par la assumption de la site, et la hauteur du remblai fut fixée à 3 m, tenant en compte la profondeur de pénétration de la surface. Cependant, dû à les contraintes quantitatives des matériaux, un type de sol avait rempli jusqu'à hauteur de 2m. Chaque remblai avait des thermocouples arrangés comme les intersections/grilles pour indiquer la distribution de la température du sol aux deux dimensions. Ces données sont contrôlées par les ordinateurs dans la chambre d'observation et peuvent être récupérées de la laboratoire de la recherche de Sapporo

via des lignes téléphoniques. Pareillement, les données météorologiques comme la température d'air extérieur, la boue de la neige et de la pluie, sont aussi automatiquement récupérées en temps réel.

2.2. Les objectifs de l'expérience

Avec l'intention de poursuivre des travaux de terrassement en hiver, cette recherche concentra l'attention sur les deux aspects suivants :

- Méthode pour garantir la qualité du remblai même quand le sol est utilisé comme le matériau de la remplissage
- Méthode optimale pour prévenir le sol qui sera utilisé comme le matériau de la remplissage, de la congélation

Cette expérience avait confirmée que les matériaux qui se suvent, par la réalisation des remblais simples pendant l'été et les remblais en hiver avec l'intention de obtenir des données basiques pour les expérimentations prévues à l'avenir.

1) La différence de la qualité du remblai due à des différentes périodes de la construction

Cette expérimentation visa la vérification de l'impact des différentes périodes de la construction sur la qualité du remblai, utilisant les mêmes matériaux de la remplissage. Le remblai fut réalisé en Novembre, quand le matériau de la remplissage ne sont pas congelés, et en Février au milieu d'hiver. De surcroît/de plus, les deux cases étaient étudiés en Février : la mixture du sol congelé fut compté dans le premier cas, et cette mixture avait évitée aussi plus que possible. Cette expérimentation avait confirmée les différences des degrés de la qualité et de la forme du remblai des travaux de terrassement en hiver et en été. Les travaux de terrassement en hiver jouent un rôle important dans l'exploration de son potentiel, tenant en compte que l'étude sur les différences causées par la présence ou l'absence de la mixture du sol congelé permet la considération de la dimension dans laquelle les travaux de terrassement en hiver peuvent améliorer la qualité des remblais en comparaison à des travaux de terrassement en été.

2) La différence de la qualité du remblai due à des différents types de sol

L'intention de cette expérimentation fut la vérification de l'impact des différents matériaux de la remplissage sur la qualité des remblais des travaux de terrassement en hiver. Les types de sol, avec qui une qualité satisfaisante peut être obtenue au cours des travaux de terrassement en hiver, furent confirmés par la construction des remblais utilisant les trois types des matériaux de la remplissage étant donné les mêmes conditions. Cette expérimentation est instrumentale, lorsque les deux ou plus types des matériaux sont opérationnelles dans les sites de remblai actuels.

2.3. La méthode du remblai

Bien que les travaux du remblai avaient réalisés d'accord des travaux de champ actuels, la méthode suivante fut adoptée pour la proportion de la mixture du sol congelé :

- 1) La proportion de la mixture du sol non-congelé fut de 1 pour 3, et mesurée utilisant le seau backhoe. A l'égard de la méthode de la mixture, le sol congelé, qui déjà exista dans la couche de la surface comme la stockage temporaire des matériaux, avait cassé et après mélangé en conséquence d'être placé à l'intérieur des camions de tas d'ordures.
- 2) En ordre de retrouver la proportion de la mixture actuelle du sol congelé, les matériaux de la remplissage d'environ 1m³ furent ramassés/recueilli avant et après du remplacement, et l'analyse-passoire fut réalisée pour le sol congelé de 19mm ou plus, de la taille du grain, en ordre de vérifier la distribution de la taille du grain.

Après d'être terminé, les remblais furent régulièrement mesurés jusqu'au le fin de Septembre, quand ils furent fichu/en panne. Aussi, au temps de la démolition, les mesures de la densité furent réalisés avec l'intention de comparer les différences pendant la construction et après de la démolition.

2.4. Le contenu de la expérimentation et des mesures

Le Tableaux 1 et la Figure 3 indiquent les résultats physiques du sol utilisé dans les remblais et les courbes de l'accumulation de la taille du grain. Bien que le contenu de l'humidité naturelle de l'Echantillon No.1 est significativement plus élevé que des autres matériaux, est un matériau de la remplissage favorable qui convient à sa proportion basse du contenu du grain fin. Les échantillons No. 2 et No. 3 ont des proportions plus élevées du contenu du grain fin, mais ils ont de la gamme normalement utilisés dans les remblais des rivières qui s'attache une importance de l'imperméabilité. Comme pour les courbes de l'accumulation de la taille du grain, tous les trois échantillons montrent la distribution de la taille du grain, signifiant que ils sont adéquat pour les tendances étudiées des remblais d'hiver causées par le type du sol.

Les mesures dans le champs sont groupées en trois catégories : les mesures pendant la construction, les msures régulières après de la construction et les mesures au moment de la démolition des remblais. Les details des cetttes mesures sont décrit dans le Tableau 2. En ce qui concerne aux mesures de la densité, la méthode du remplacement de la sable et les mesures du(de la) RI facilement mesurable furent utilisées simultanément. ⁴

3. La considération et les résultats de la expérimentation

3.1. Comparaison selon les degrés de la compactage

Généralement, la qualité des remblais est vérifiée selon les degrés de la compactage du sol. Par exemple, les routes exigent des degrés minimales de la compactage de 85% et 90% pour les remblais des terres remplis et de la sous-grade, respectivement. Le Tableau 3 indique les valeurs moyennes obtenues par l'intermédiaire des mesures des degrés de la compactage en conséquence de l'utilisation de la méthode du remplacement de la sable. Tenant en considération les mesures de la densité par le(a) RI, et en conséquence des erreurs significatives pendant les mesures réalisées en hiver, il fut retiré de l'étude des degrés de la compactage.

La comparaison des différences causées par les différents périodes de la construction, indique que les degrés de la compactage des travaux de terrassement d'hiver sont plus bas que des travaux de terrassement d'été. C'est parce que les clods congelés se présentent facilement au cours des travaux de terrassement en hiver faisant difficile la compactage suffisante. Néanmoins, même dans le cas des travaux de terrassement d'hiver, la comparaison de la présence ou l'absence de la mixture du sol congelé indiqua les degrés élevées de la compactage avec le remblai où le sol congelé n'avait mélangé. Ce fait suggère que la densité peut être augmenté par la minimization du sol congelé pendant des travaux de terrassement en hiver. L'Echantillon No. 1 indique les degrés de la compactage basse en dépit d'être les travaux de terrassement d'été. Ce fait peut être dû à l'exactitude reduite des valeurs des mesures causée par le caractère unique de la cendre volcanique qui élève les courbes de la compactage non-visibles comme elles sont décrit dans la Figure 4. Dans le remblai No. 4, le degré de la compactage au cours de la démolition fut plus bas parmi des tous les remblais, mais il s'espère que les degrés de la compactage soient élevés au temps que le sol congelé à l'intérieur du remblai, se dégele.

Les degrés de la compactage de tous les remblais avaient augmentés au moment de la démolition contre le moment de la construction. Les changes du degré de la compactage pendant la consntruction et de la démolition furent décrit en pourcentage (Figure 5.) Cette figure montre que cetttes valeurs du remblai mélangé avec le sol congelé sont plus larges parce que les vides créés par les clods congelés pendant les construction graduellement s'écroulent.

En termes des différences causées par les types du sol, la Figura 5 indique les tendances augmentées dans la séquence des Echantillons No. 1, No.2 et No.3. Cette séquence aussi correspondre à la proportion de la mixture du contenu du grain fin. Généralement, les types de sol

de contenu du grain fin enclinent à la rétention des grandes quantités d'eaux pores qui congèle le sol. En conséquence, au temps que les clods congelés accroissent en gradeur, le numéro de vides à l'intérieur du remblai augmente. A ce égard, il se croie que au temps que le sol a du contenu du grain fin plus élevé, la plus large sera difference de la densité que deviens après la dégel. Sur la base des faits susmentionnés, il fut confirmé que les types du sol du contenu bas du grain fin sont avantageux pour les travaux de terrassement en hiver.

3.2. Comparaison selon la distribution de la temperature du sol

La Figure 6 est une carte de la distribution de la temperature du sol pour chaque remblai semblable à du fin de Août. Bien que il n'y a pas des travaux en été (Remblais No. 1-3) avec les temperatures de 2°C ou plus basses, la présence du sol congelé fut confirmé dans les remblais No. 4, 5 et 7 parmi de ces-lui d'hiver (Remblais NO.4-9). Le remblai No. 4 a, en particulier, la grande quantité du sol congelé restant dans le sol. La Photo 2 montre la situation quand le Remblai No. 4 était démolé en 25 de Septembre. Cette photo aussi confirme la présence du sol congelé demontrant la conformité avec la gamme des Figures 5, i.e., 2°C ou plus basses/sous. Au temps que cette gamme de congélation diminue d'environ 20 cm à l'épaisseur à chaque mois, certain sol congelé est considéré pour rester indégelé jusqu'au hiver prochain si ce remblai n'est pas dérangé. Le Tableau 4 indique la conductivité térmique mesurée par les types du sol après la finition de la saison d'hiver. La conductivité térmique du Echantillon No. 3, où le sol congelé disparut facilement, était élevé. Le conductivité térmique basse du Echantillon No. 1 était considéré causé par la proportion augmentée d'air-space, le facteur qui affecte l'efficacité de l'isolation, et à son tour fut influencée par la densité basse de la compactage du sol par cela. Les faits susmentionnés suggèrent que les types de sol avec la conductivité térmique basse, comme le sol de la cendre volcanique, exigent une periode de temps longue nécessaire pour le dégel du sol congelé.

3.3. Comparaison selon les mesures des profiles des remblais installés

La Figure 7 décrit les changes supplémentaires des résultats des mesures du profil des remblais installés. Les travaux de terrassement d'été (Remblais No. 1-3) indiquent quelques changes sans tenir en compte les differences des types de sol. Cependant, parmi des travaux de terrassement d'hiver, les remblais mélangés avec le sol congelé (Remblais No. 4-6) avaient expérimentés d'un volume croissante de la déformation de remblai au cours de la passage de temps. Contrairement, le volume de la déformation était significativement retenu/contraint dans le remblais mélangés avec le sol non-congelé (Remblais No. 7-9). Les effets de la suppression/du enlèvement du sol congelé peuvent être reconnus dans cette Figure.

A l'égard du volume de la déformation d'accord des types du sol, cela de l'Echantillon No. 3 est le plus large. Particulièrement, le remblai mélangé avec le sol congelé (Remblai No. 6) siuvre la déformation au-delà de la reconnaissance de sa forme initiale. Selon la considération susmentionnée, il est supposé d'être causé par le règlement que il présenta dû aux vides crés par les clods qui se dégelent graduellement. Bien que le Remblai No. 4 n'avait expérimenté aucune déformation majeure comme cela de Septembre, l'augmentation du volume de la déformation est attendue parce que les quantités du sol souterrain congelé restent du fait comme fut déjà susmentionné. Ce indique que la déformation continue dans les remblais mélangés avec le sol congelé même si les rajustements sont fait pour les remblais à moins que le sol souterrain congelé se dégele complètement.

4. Conclusions

Les tests des remblais à l'échelle complète furent réalisés au Champ des Tests de la Construction de Tomakomai avec le propos de comparer la qualité des remblais d'hiver pendant les différentes périodes de la construction et pour les différents types du sol. Comme le résultat, les aspect suivants furent clarifiés :

- 1) L'enlèvement du sol congelé préviens la réduction des degrés de la compactage et supprime significativement la déformation des remblais.
- 2) Les types du sol avec le contenu élevé du grain rude/vulgar sont relativement avantageux pour les travaux de terrassement d'hiver.
- 3) Dans les remblais mélangés avec le sol congelé, le sol souterrain congelé reste pour une période longue de temps, et la déformation du remblai est facilité par le dégel lent.

References

- 1) Kawanishi et al.: A study on whole year earthworks (No.5), Proceedings of 28th annual meeting for technical research of Hokkaido Development Bureau, pp.73-84,1984.(in Japanese)
- 2) Sakuraba and Nishikawa: Influence of freezing to soil compaction, Research Report No.39, Hokkaido Branch of Japanese Geotechnical Society, pp.93-98, 1999.(in Japanese)
- 3) Sakuraba and Nishikawa: Compaction characteristics of frozen soil mixing soil, Proceedings of 34th annual meeting, Japanese Geotechnical Society, pp1835-1836,1999.(in Japanese)
- 4) Japan Road Association: The guideline for geotechnical survey for road construction, pp.310-319, 1986. (in Japanese)

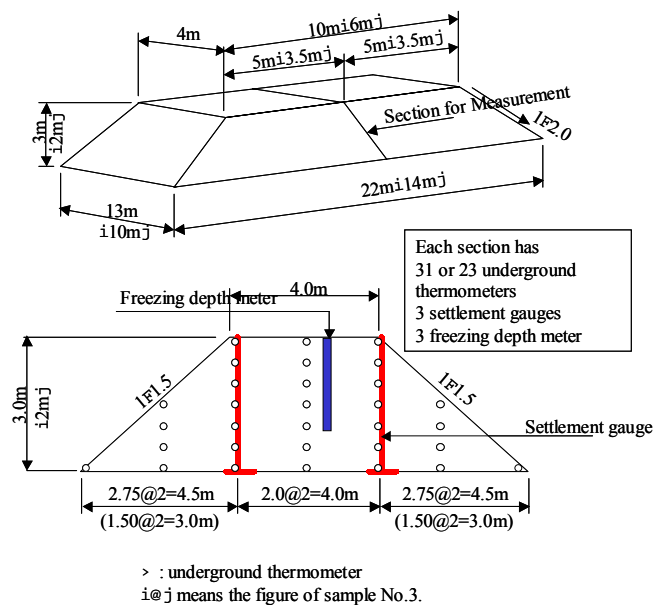
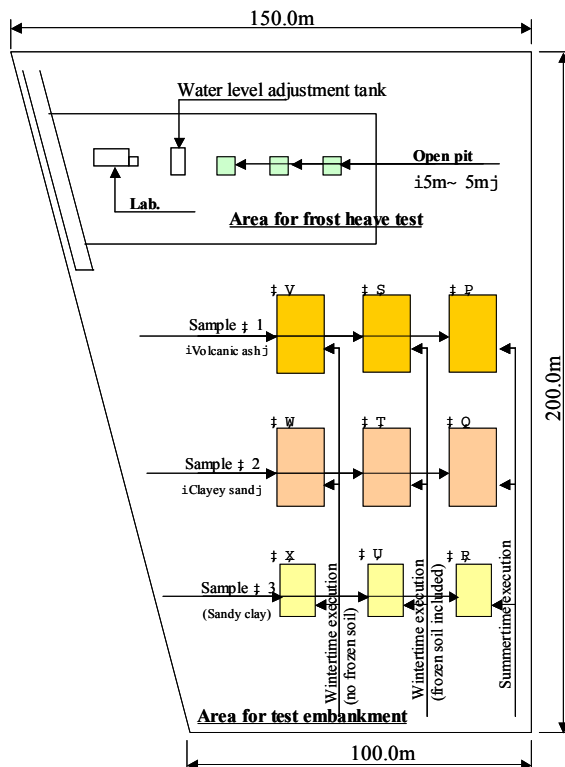


Fig.2 Detailles du remblai essayé

Fig.1 Distribution du remblai essayé



Photo1 Expérimentation du remblai essayé

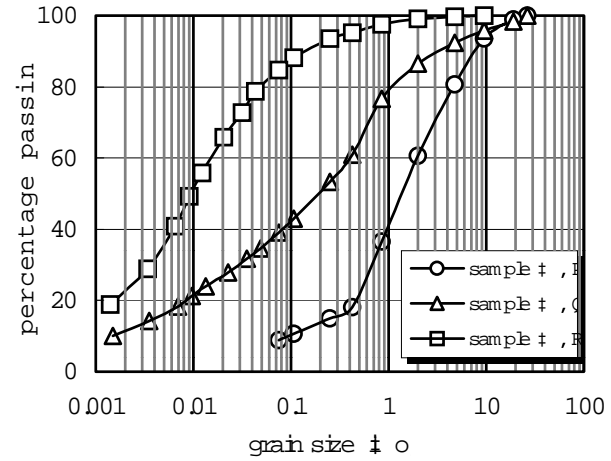


Fig.3 Distribution de la taille du grain

Table 1 Caractéristiques physiques du matériau du remblai

sample No.	Japanese unified soil classification system	symbol	natural moisture content (%)	density of soil particle (g/cm ³)	grain size distribution (%)			
					gravel	sand	silt	clay
1	volcanic gravelly sand	, r f u	74.59	2.395	39.3	51.9	8.8	-
2	clayey gravelly sand	, r f r f	41.04	2.659	13.4	47.5	22.9	16.2
3	sandy clay	, bk r	36.63	2.691	0.9	14.4	48.5	36.2

sample No.	consistency index			maximum dry density f _d max (g/cm ³)	optimum moisture ratio, y _o (%)	frost heave test frost heave ratio i _h (av. of three)
	LL	PL	Plasticity index			
1	70	20	-	0.792	77.9	17.6
2	39.6	26.0	13.6	1.510	21.0	34.9
3	45.7	21.4	24.3	1.575	22.0	17.6

Table 2 Mesures réalisées pendant cette étude

measurement time	measurement	method	measurement frequency	Remarks
at execution	density	sand displacement	three times/embankment	twice for No.3 & 9
	density	RI	seven times/embankment	five times for No.3 & 9
	grain distribution of frozen soil	sieve test	once/embankment	
after execution	underground temperature	thermocouples	once/hour	
	freezing penetration	methylene blue	once/month	
	settlement of embankment	settlement gauge	once/month	
at demolition	shape of embankment	tape measurement	once/month	
	density	sand displacement	twice/embankment	once for No.3 & 9
	density	RI	five times/embankment	three times for No.3 & 9

Table 3 Mesures du degré de la compactage

	material 1, P		material 2, Q		material 3, R	
	at execution	at demolition	at execution	at demolition	at execution	at demolition
summer time earthwork	78.4	85.9	89.1	93.0	80.0	91.5
winter time earthwork (with frozen soil)	55.2	68.1	56.2	85.9	56.3	91.0
winter time earthwork (without frozen soil)	67.7	75.4	79.3	92.0	73.9	91.2

average of three for No.1 & No.2, average of two for No.3

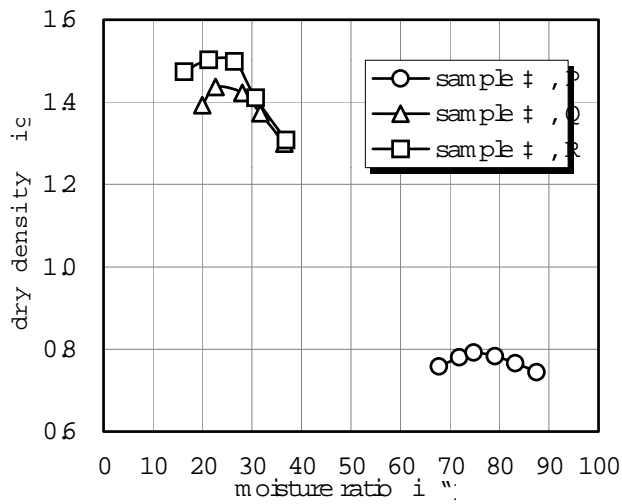


Fig.4 Courbe de la compactage du matériau du remblai

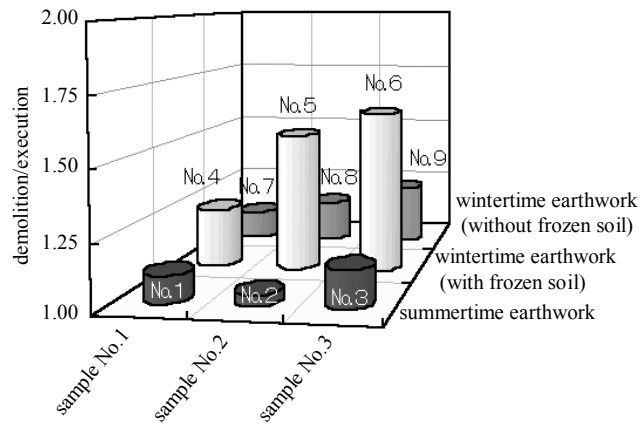


Fig.5 Change du degré de la compactage au moment de l'exécution et de la démolition

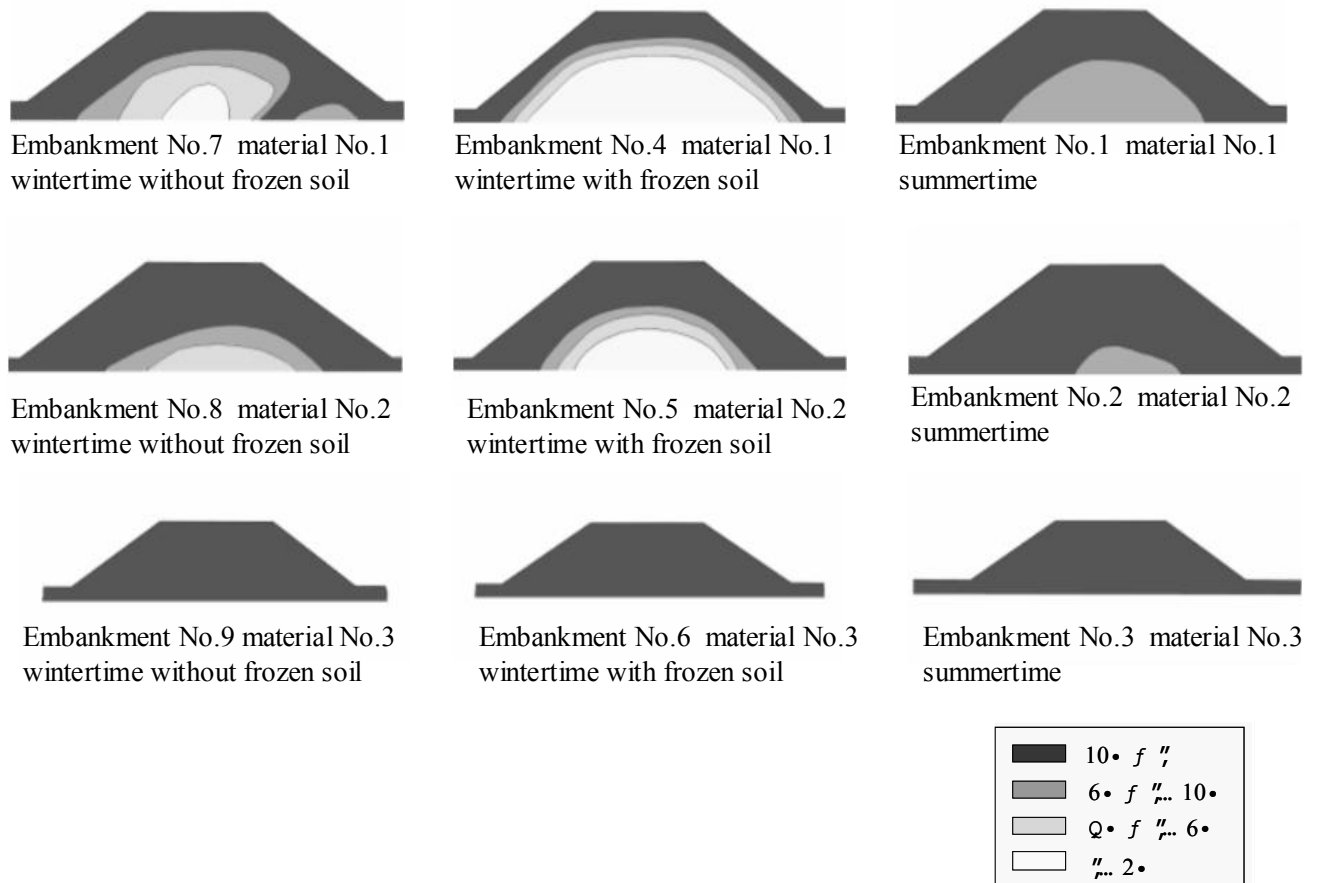


Fig.6 Distribution de la temperature souterraine (en 31 Août de 2001)



Table 4 Conductivité thermique de chaque matériau du remblai

Embankment #	Thermal conductivity $\bar{w}/m^{\circ}K$	moisture ratio (%)
#, P	0.35+0.05	39.0
#, Q	0.54+0.12	25.2
#, R	0.74+0.21	22.1

Photo 2 Progrès de la démolition du remblai No.4

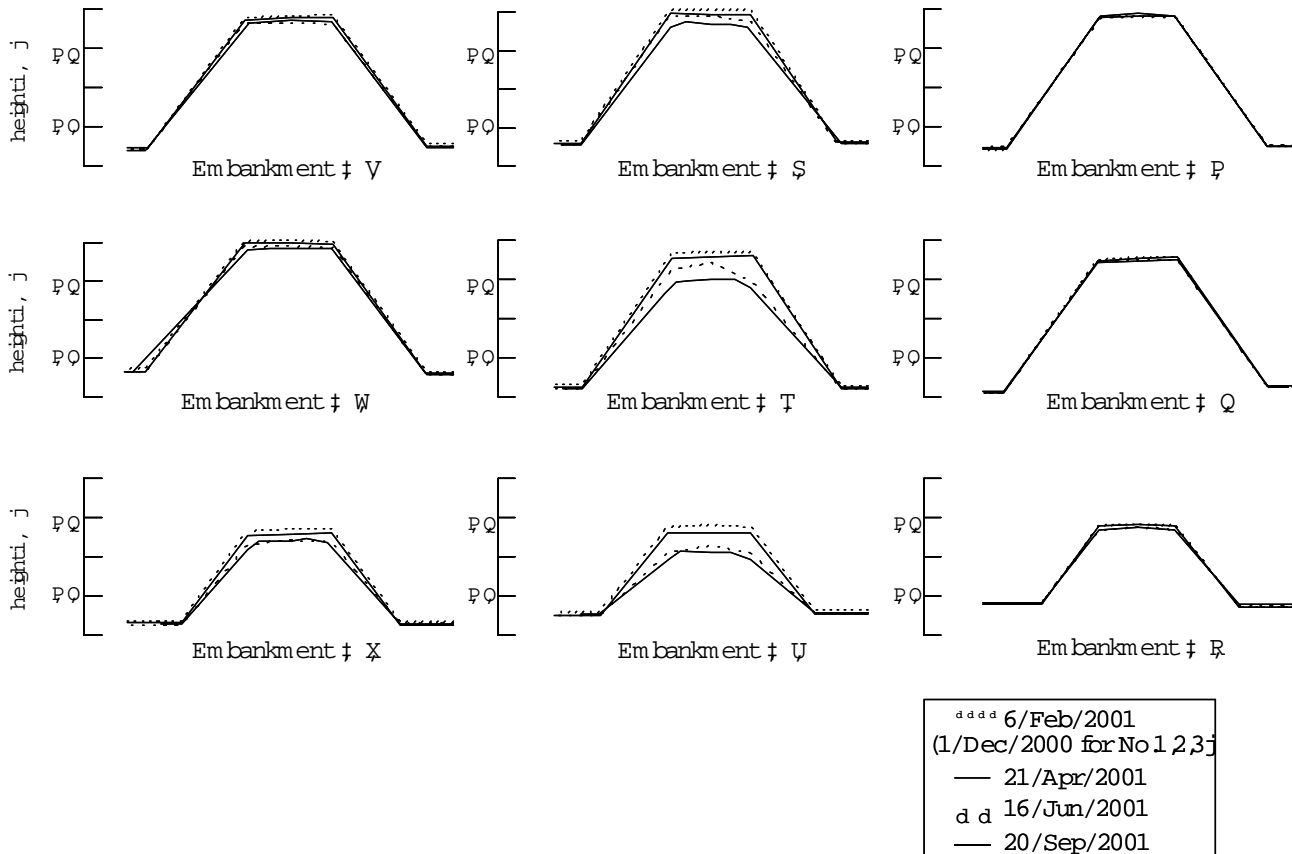


Fig.7 Change de la forme du remblai