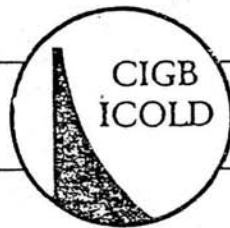


FOURTEENTH INTERNATIONAL
CONGRESS ON LARGE DAMS

RIO DE JANEIRO, Brazil
3-7 May 1982



QUATORZIÈME CONGRÈS
INTERNATIONAL
DES GRANDS BARRAGES

RIO DE JANEIRO, Brésil
3-7 mai 1982

NOUVELLE MÉTHODE DE CONSTRUCTION DES
ÉCRANS D'ÉTANCHÉITÉ DANS LES BARRAGES
EN REMBLAI

NOUVELLE MÉTHODE DE CONSTRUCTION DES ÉCRANS D'ÉTANCHÉITÉ
DANS LES BARRAGES EN REMBLAI

1. INTRODUCTION

Un des sujets souvent traités dans la réalisation de barrages et de batardeaux en remblai, la plupart desquels sont fondés sur des terrains en grande partie perméables (alluvions, sables, etc.), est constitué par la création d'écrans d'étanchéité pour la rétention ou la régularisation des eaux de la circulation souterraine.

Jusqu'à présent le problème a été abordé de manière différente en fonction des conditions géostratigraphiques et géotechniques des terrains de fondation :

a) en enfonçant dans le terrain des éléments rapprochés préfabriqués en béton ou bien des palplanches métalliques traditionnelles pour former des écrans minces, continus et articulés;

b) en emportant le matériau in situ pour le remplacer par des mélanges, plus ou moins plastiques, de terrains imperméables et de mortiers pour

créer des tranchées et des parois moulées d'épaisseur et de profondeur variables;

c) en traitant le matériel in situ avec des coulis binaires, ternaires ou chimiques injectés d'après différentes technologies, à des pressions ne dépassant normalement pas les 10 MPa.

F. Sabarly, au cours d'une conférence à Paris, en 1966, disait à propos des problèmes concernant les grands barrages : « on doit contribuer au progrès de la sécurité des grands ouvrages à travers l'observation critique, l'expérimentation, la recherche et la mise en question des idées préconçues, sans se contenter de recettes toutes faites et des dogmes établis ». C'est justement dans cette optique que l'on désire attirer l'attention des techniciens sur une nouvelle méthode pour réaliser des écrans d'étanchéité, en proposant une documentation expérimentale acquise, sur différents types de terrains, au cours de l'exécution d'ouvrages hydrauliques mineurs.

2. DESCRIPTION DE LA MÉTHODE

La méthode se sert d'une technologie (appelée C.C.P.), mise au point au Japon, développée en Italie et reprise au Brésil et au Venezuela ces dernières années. Elle se sert de jets au débit très faible (30-50 l/min.) et à pression très élevée (jusqu'à 70 MPa) de coulis liants d'une certaine viscosité (à base de ciment, bentonite ou résines) pour découper le terrain, le mélanger, le consolider, en augmentant sa densité et en supprimant presque totalement sa perméabilité.

Dans la création d'écrans étanches, l'injection dans le terrain est réalisée au moyen d'une sonde, du genre traditionnel, attachée à une pompe spéciale pour les pressions très élevées, et a lieu dans des trous verticaux d'après les phases indiquées dans les schémas Fig. 1.

Les phases des opérations s'articulent à travers le forage à destruction jusqu'à la profondeur requise par le projet et l'extraction successive de la batterie de tiges avec l'injection simultanée des coulis à travers deux petits trous avec axe horizontal de 1,5-2,5 mm de diamètre, opposés, à une distance de 8 cm et placés près de la tête de perforation.

Il s'agit d'un système de consolidation et d'imperméabilisation par injections contrôlées.

En effet, soit les temps d'extraction et, éventuellement, ceux de rotation de la batterie de tiges, soit la quantité de coulis à injecter peuvent être entièrement programmés et contrôlés par des systèmes automatiques.

On peut remarquer (Fig. 1) que l'écran d'étanchéité apparaît en définitive formé par le rapprochement d'une série de volumes sécants de terrain traité, aux contours différents selon le mouvement attribué à la batterie de tiges en phase de remontée, et donc à l'injection. Alors que la simple extraction des tiges pendant la remontée permet d'obtenir des volumes au format lenticulaire, l'extraction accompagnée d'une rotation simultanée

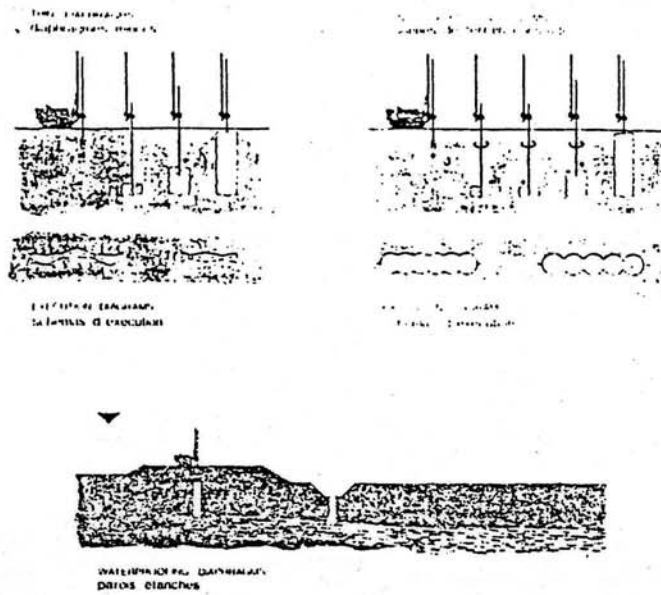


Fig. 1

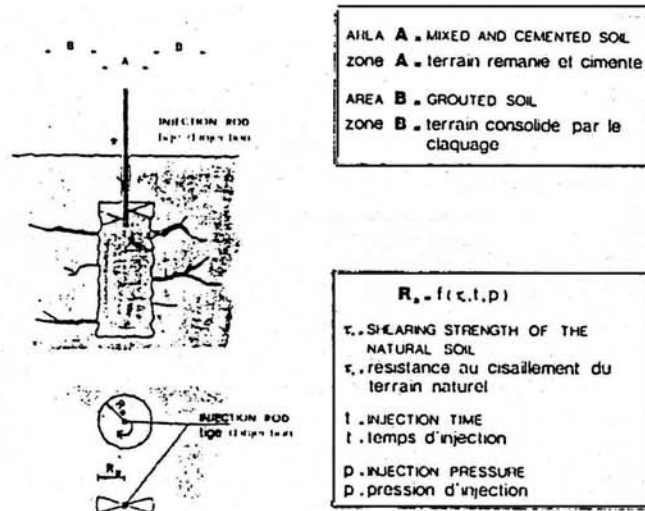


Fig. 2

produit des volumes de format cylindrique. La position des trous d'injection est établie en fonction du degré d'interpénétration que l'on veut obtenir entre les volumes de terrain traité, mais surtout en fonction du rayon d'action R_a du jet de coulis qui, à son tour, apparaît conditionné par une série de variables comme :

- la pression d'injection (p);
- le temps de permanence du jet dans une certaine direction (t);
- la résistance au cisaillement naturel du terrain (τ_n).

L'injection par jets à très haute pression aboutit (voir Fig. 2), d'une part, à la consolidation totale par cimentation du terrain intéressé (zone A) dans le rayon d'action R_a des jets qui, par action dynamique, détruisent et reconstituent le matériau en lui conférant une nouvelle structure, et d'autre



Fig. 3

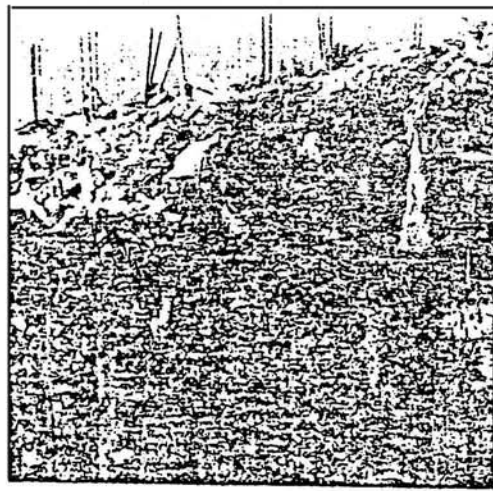
639

Q. 55

part, au traitement par claquage d'une zone externe au rayon d'action R_a (zone B) dont l'extension dépend de différents facteurs tels que le niveau de fracturation ou la porosité du terrain naturel, les temps d'injection ou de rotation des jets, etc.

La résistance ponctuelle acquise par le terrain à la suite du traitement par très fortes pressions est généralement très élevée et dépend de la nature du matériau à consolider, de la pression d'injection et seulement en partie du type des coulis injectés.

La rigidité d'ensemble des volumes de terrain consolidé est généralement limitée et peut être réglée en agissant en particulier sur le choix du type de coulis à injecter.



SOIL SAND
 TERRAIN SABLE

INJECTION PRESSURE $p = 10 \text{ MPa}$
 PRESSION D INJECTION

RADIUS OF ACTION $R_a = 1.5 \text{ m}$
 RAYON D ACTION

UNCONFINED COMPRESSION STRENGTH $C_u = 0.1 \text{ MPa}$
 RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE

Fig. 4

3. DOMAINE D'APPLICATION ET RESULTATS EXPERIMENTAUX

Le domaine d'application de cette méthode de consolidation est très vaste : il va des terrains incohérents et partiellement cohérents en général jusqu'aux terrains cohérents à condition qu'ils aient une résistance au cisaillement attaquant par les jets à très haute pression. La méthode permet d'exécuter des consolidations en présence d'eau interstitielle ou de nappe en régime hydrostatique et hydrodynamique, indépendamment des conditions de perméabilité naturelle K . Dans les Fig. 3, 4, 5, 6 et 7 on peut voir les résultats de l'application de la nouvelle méthode d'injection pour la réalisation d'écrans étanches en différents types de terrain : argiles, argile limoneuse, sables limoneux, sables, alluvions. Les mesures d'étanchéité, exécutées à la suite des traitements, ont fourni des valeurs de K pratiquement nulles.

L'épaisseur des écrans est variable en fonction des rayons d'action R_a obtenus expérimentalement et en définitive, comme on l'a déjà dit, en fonction de τ_c , t , p .



SOIL SILTY CLAY
 TERRAIN ARGILE LIMONEUSE

INJECTION PRESSURE $p = 25 \text{ MPa}$
 PRESSION D INJECTION

RADIUS OF ACTION $R_a = 45 \text{ cm}$
 RAYON D ACTION

UNCONFINED COMPRESSION STRENGTH $C_u = 7 \text{ MPa}$
 RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE

Fig. 5

CONCLUSIONS

L'expérience et les résultats acquis jusqu'à ce jour dans l'exécution d'écrans étanches pour des ouvrages hydrauliques mineurs en Italie et au Brésil avec le système C.C.P. indiquent que, dans le domaine des barrages en remblai on dispose, avec cette nouvelle technique d'une alternative valide aux systèmes traditionnels décrits plus haut. Les écrans réalisés avec la méthode C.C.P. non seulement remplacent ceux qui sont exécutés avec les systèmes d'enfoncement d'éléments préfabriqués en acier ou en béton, ils remplacent aussi les tranchées et les parois moulées plus ou moins plastiques remplies de mélanges de terrains imperméables et les écrans à injection traditionnels. Ils présentent sans doute toute une série d'avantages, parmi lesquels :



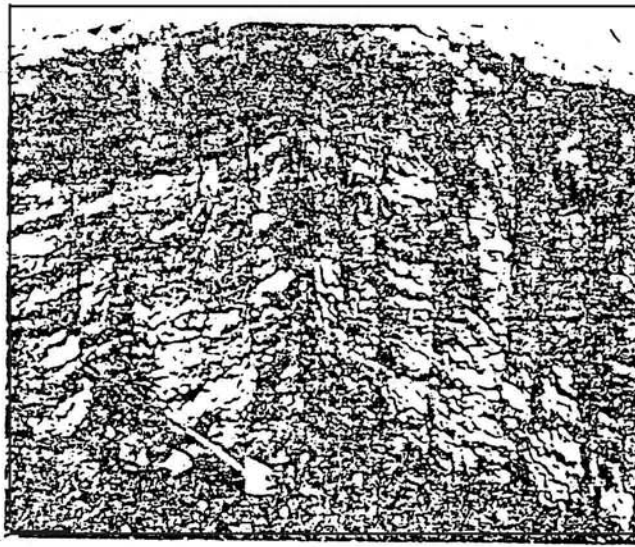
Fig. 6

642

— ils permettent de résoudre des situations que les systèmes traditionnels peuvent difficilement aborder, comme par exemple, l'exécution d'écrans d'injection en présence de grandes cavités carstiques remplies de dépôts de limons argileux, la réalisation de parois moulées en présence de blocs de grosse taille et de tranchées en présence de sables éboulants sous nappe phréatique;

— ils utilisent une méthode d'injection qui garantit un contrôle systématique dans toute situation (proximité de structures préexistantes, présence d'eau, etc.) de la géométrie des volumes à traiter et des résultats du traitement. Cette méthode est particulièrement indiquée lorsque se pose un problème de choix des pressions d'injection en fonction de la profondeur, de contrôle des débits ou des fuites du matériel injecté, d'atteinte des pressions de refus pendant le traitement qui, au fond, sont celles qui déterminent la consolidation et l'imperméabilisation du terrain.

Pendant les dernières expériences toute une série de mesures ont été mises au point pour le contrôle de la qualité des produits du traitement : des essais géotechniques sur des échantillons prélevés à des distances variables à partir de l'axe d'injection, pénétrométriques SPT, sismiques et pres-



SOIL SILTY SAND
TERRAIN SABLE LIMONEUSE
INJECTION PRESSURE 10.45 MP
PRESSION D INJECTION 10.45 MP
RADIUS OF ACTION 4.00
RAYON D ACTION 4.00
UNCONFINED COMPRESSION STRENGTH
RESISTANCE A LA COMPRESSION 1.0 MP

Fig. 7

643

Q. 55

sométriques en plus de ceux de perméabilité. En particulier, on a mis au point de façon expérimentale des systèmes de prévision qui permettent de définir le rayon d'action R_a des jets d'injection en fonction des résultats des essais pénétrométriques, des pressions d'injection et des absorptions de mélange par mètre linéaire de terrain traité.

L'auteur désire remercier la C.C.P. — Italie-Venezuela et la Novatecna — Brésil pour le matériel photographique mis à sa disposition.