

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Nouveau procédé de remise à niveau de bâtiments affaissés au moyen d'injections de ciment

A New Method of Compensating Settlement of Buildings by Injections of Cement Grout

par M. PLEITHNER, Directeur «Beratungs- und Forschungsinstitut für Baugrundfragen, Zementeinpressung und Bodenverfestigung», et W. BERNATZIK, «Beratungs- und Forschungsinstitut für Baugrundfragen, Zementeinpressung und Bodenverfestigung», Benediktbeuren, Oberbayern, Allemagne

Sommaire

En injectant du coulis de ciment dans un terrain fissuré le coulis se répand parfois en suivant une fissure sensiblement horizontale. Si la pression d'injection est suffisamment grande les couches sus-jacentes peuvent alors être soulevées par l'injection.

De même façon on peut soulever des bâtiments pour annuler des affaissements préliminaires. On injecte alors le coulis directement sous les fondations de l'édifice. Deux bâtiments de grandeurs considérables ont été soulevés avec ce procédé par l'auteur. Un coulis de ciment spécialement étudié pour ces travaux et fortement thixotrope a été utilisé avec plein succès.

1° Un four d'une batterie à gaz de la Maison Hoesch à Essen avait subi un tassement inégal d'environ 10 cm relativement au four voisin. On se trouvait pour cette raison en face de la nécessité d'arrêter la marche du four. Les tassements ont été annulés par les injections et on a réussi la mise en coïncidence pratique des lignes de niveau de l'affaissement avec celles du soulèvement. Pendant ces travaux le four était en marche et aucun dommage n'a été observé au bâtiment extrêmement sensible à la flexion.

2° L'usine électrique du barrage de Hessigheim dans le Neckar s'affaissait pendant sa construction de 9 à 17 cm avec une telle vitesse de basculement qu'il fut impossible de monter les turbines. Après avoir entouré la dalle de fondation en béton armé par une enceinte de palplanches l'usine fut remise d'aplomb et remontée à son niveau initial par le même procédé.

Les deux travaux ont été exécutés très rapidement, à un prix très bas et sans dommage pour les bâtiments. Avec ce procédé très simple on dispose à l'heure actuelle d'un nouveau moyen de remise à niveau de bâtiments affaissés, qui peut dans certains cas rendre inutile une fondation en profondeur coûteuse.

Introduction

En injectant du coulis de ciment dans le sous-sol, il arrive fréquemment que le coulis se répande en suivant une fissure sensiblement horizontale, soit que cette fissure existe déjà, soit qu'elle se forme sous la pression de l'injection elle-même. Dans un tel cas, la pression du coulis de ciment s'exerce vers le haut sur une grande surface de sorte que les couches sus-jacentes sont

Summary

When performing cement injections it happens occasionally that the cement grout expands along a horizontal crack in the subsoil. If the injection pressure is strong enough the layer on top of the crack is raised.

In the same manner building structures may be raised in order to compensate for previous settling. The cement grout in this case is injected directly into the bearing joint. Two large buildings were raised in this way, using with complete success a highly thixotropic cement grout which had been especially developed for this type of work.

(1) A furnace of the coking plant "Emil" of the Hoesch concern at Essen had settled unevenly by 10 cm as compared with the neighbouring furnace so that it appeared necessary to stop its operation. By the injection method it was levelled while in full operation and it was possible to obtain virtual coincidence of the contour lines of settlements with those of elevations. The highly sensitive structure suffered no damage whatsoever in consequence of this work.

(2) The power station of the Dam Hessigheim a. Neckar had settled in the course of construction by 9 to 17 cm so that the rapid uneven movement made the installation of the turbines impossible. After surrounding the foundation slab with sheet piling the structure was levelled and brought to its calculated position by cement injections.

Both performances could be executed in a short time and at very low cost. This method of raising buildings therefore provides a means of compensation of the settlement, which in certain cases will render unnecessary an expensive deep foundation.

soulevées à la façon d'un piston de presse hydraulique. Un soulèvement semblable peut avoir des effets nuisibles et dangereux sur les bâtiments, etc., sans compter qu'un tel joint de ciment horizontal reste sans effet quant à l'étanchéité recherchée et que le ciment injecté est pour ainsi dire gaspillé.

La connaissance des phénomènes causant de semblable sou-

lèvements a fait naître l'idée de ramener à leur niveau initial des bâtiments ayant subi des affaissements, en injectant le coulis de ciment sous les fondations. Le procédé ainsi développé a donné d'excellents résultats, en raison de son prix très réduit et de la simplicité du système. Ci-après, les auteurs donnent un rapport sur deux travaux qui n'auraient pu être exécutés par aucun autre moyen.

Groupe de cokerie au puits «Emil» Hoesch AG, Essen

Dès la seconde guerre mondiale, il avait été installé, au puits «Emil», un jeu de 3 groupes de cokerie, ayant chacun une base de 18×43 m et servis par un jeu de machines. Un de ces groupes s'était affaissé d'environ 10 cm sur une extrémité de sorte que, entre celle-ci et l'extrémité du groupe avoisinant, il s'était formé une marche. Par suite de cette marche, l'exploitation mécanique était menacée à tel point qu'on envisagea l'arrêt complet du groupe.

La Fig. 1 représente les fondations du groupe. Au-dessous d'une dalle de béton armé renforcée de 60 cm se trouvait un lit de sable dans une cuve étanche. Cette construction avait été choisie afin de pouvoir soulever le bâtiment à son niveau au moyen d'injections d'eau et de maintenir ce soulèvements par une injection de sable. Toutefois, pour des raisons diverses qu'il est inutile d'énumérer ici, ces travaux de soulèvement ont échoué.

Les auteurs concurent alors le plan d'appliquer pour la première fois, au groupe en question, la méthode du soulèvement par injection de coulis de ciment. La Fig. 2 représente la vue du groupe de cokerie. On aperçoit, au premier plan, le jeu de machines ayant servi au soulèvement. Ce jeu se composait de deux pompes à ciment (pour haute et basse pression) et d'un jeu de mélangeuses dans lesquelles le coulis de ciment était maintenu en mouvement à l'aide de pompes centrifuges. Le coulis de ciment fut injecté dans le joint d'appui par des tubes encastrés dans le béton de la dalle de fondation.

Au cours d'un tel procédé, il faut avoir la garantie que le coulis injecté se répand effectivement à l'endroit où l'on se propose de provoquer le soulèvement. C'est pour cette raison qu'il a été fait usage d'un coulis de ciment thixotrope et peu liquide, dont il n'a été injecté dans chaque trou que de petites quantités à la fois. De cette manière, il a été créé, sous la dalle de fondation, une série de minces galettes de ciment permettant de redresser ainsi la dalle de fondation qui s'était déformée à la suite du tassement. Afin d'empêcher le ciment de s'écouler latéralement, un mince tablier en béton armé formait le bord latéral de la cuve.

Les travaux étaient rendus plus difficiles du fait qu'il fallait les exécuter en pleine exploitation du groupe de cokerie. En

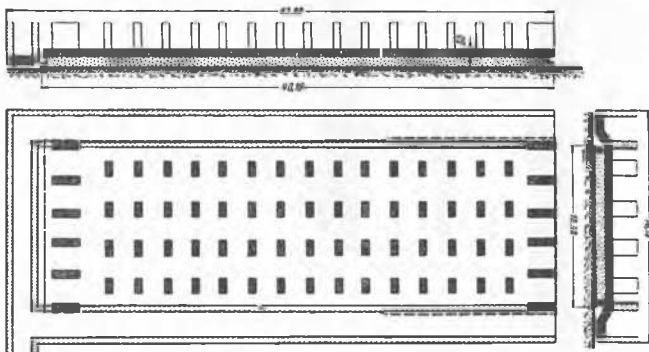


Fig. 1 Fondation du groupe de cokerie affaissé
Foundation of the Settled Coking Plant



Fig. 2 Vue du groupe de cokerie
View of the Coking Plant

effet, toute interruption dans l'exploitation d'un tel groupe amènerait, par suite de la contraction due au refroidissement, des dégâts pouvant compromettre l'existence du groupe. Ce dernier, de son côté, est extrêmement sensible pendant le service, étant donné que la formation de fissures pourrait permettre à l'air de se mêler au gaz et de créer ainsi un mélange de gaz explosif. De plus, il convient de noter qu'il régnait dans les espaces vides des fondations, des températures allant jusqu'à 65 degrés par suite des fours allumés.

Pendant ces travaux, le groupe a été contrôlé de façon constante par des nivellements de précision. La Fig. 3 représente le plan des courbes de niveau des affaissements que le groupe avait subis. Parallèlement, la Fig. 4 montre les courbes des soulèvements en trois stades différents. On reconnaît que le mouvement de soulèvement a été extrêmement souple et qu'il a été possible de régler les soulèvements de telle manière qu'à l'extrémité gauche critique le plan des courbes de niveau des affaissements se raccorde pratiquement à celui des soulèvements. Les travaux du côté droit n'ont pas été achevés, étant donné que les affaissements constatés étaient négligeables.

Ces travaux ont exigé 80 tonnes de ciment et ont duré en-

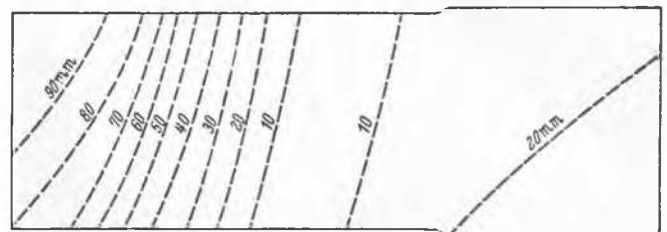


Fig. 3 Plan des courbes de niveau des affaissements
Equal Settlements Curves of the Coking Plant

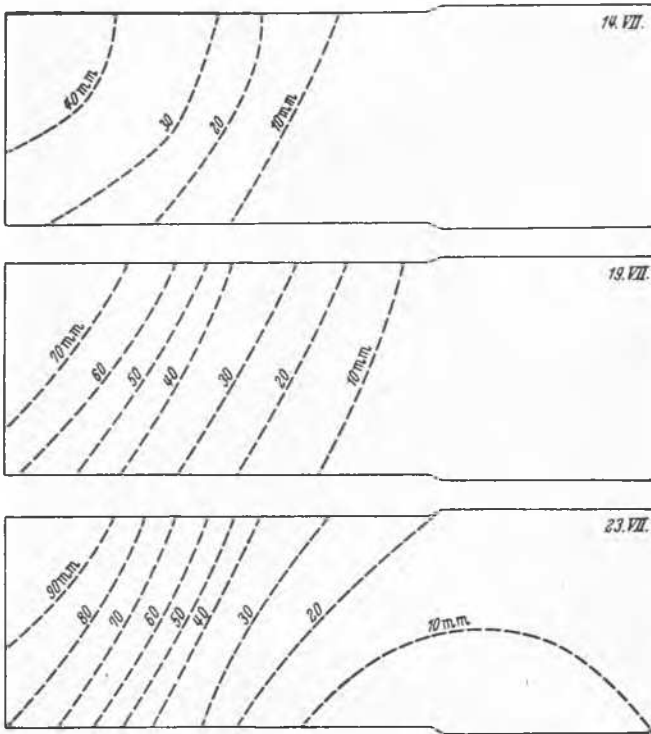


Fig. 4 Trois stades de la remise à niveau du groupe de cokerie
Curves of Equal Raising; three Stages

viron 3 semaines. Les frais se sont élevés à environ 40.000 DM, ce qui représente un montant extrêmement faible en comparaison de la valeur du groupe. A la suite du succès extraordinaire de ces travaux, un autre bâtiment a été traité de façon analogue, à cette exception près que, pour ce groupe de cokerie, les fondations étaient d'ores et déjà prévues de telle façon qu'elles ne nécessitaient aucune mesure supplémentaire pour les injections de ciment. Pour le premier bâtiment, cela n'avait pas été le cas.

Usine des Forces motrices de la Neckarbauverwaltung à Hessigheim am Neckar

A l'Usine des forces motrices du barrage de Hessigheim am Neckar il est apparu, pendant les travaux de construction, des affaissements irréguliers tels qu'une déclivité sensible eût compromis le montage des turbines. La cause de ces affaisse-



Fig. 5 Vue de l'usine des forces motrices à Hessigheim
View of the Power Plant Hessigheim

ments ne pouvait pas tout d'abord être clairement déterminée, car il ne s'agissait pas d'une simple compression du sous-sol par suite de la charge que représentait le bâtiment. En effet, ce sous-sol était d'une bonne force portante et des parties du bâtiments qui n'étaient que peu chargées ou ne portaient pas de charge de tout, s'étaient affaissées beaucoup plus fortement que les parties portant une grande charge.

Une série de possibilités de reprises en sous-œuvre fut envisagée, mais rejetées en raison des difficultés techniques et des frais élevés qu'elles auraient occasionnés. Afin de permettre le plus rapidement possible l'exploitation du bâtiment, les auteurs décidèrent de proposer un soulèvement à l'aide d'injections de ciment dans le joint d'appui et l'exécution des modifications nécessaires au bâtiment en vue de pouvoir le soulever ultérieurement à tout moment et sans grands frais, en cas de nouveaux affaissements.

L'usine des forces motrices telle que la représente la Fig. 5, fut séparée des parties de maçonnerie qui l'entouraient, en la protégeant par des batardeaux correspondants, représentés en coupe par la Fig. 6. A cet effet, il a été créé une coulisse par des forages contigus au marteau-foreur. Des palplanches à profil plat et d'une longueur de 8 m ont ensuite été insérées dans cette coulisse pour y être enfoncées, de sorte que la plaque de fondation fut entourée de trois côtés par cet écran de palplanches, tandis que du quatrième côté, c'est-à-dire du côté amont, il existait déjà un écran de palplanches, ancré dans la plaque de fondation et dont le but était d'empêcher le déchaussement du bâtiment par les eaux (Fig. 7).

Après ces travaux préparatoires, la plaque de fondation fut sillonnée de trous de forage qui se terminaient dans le joint

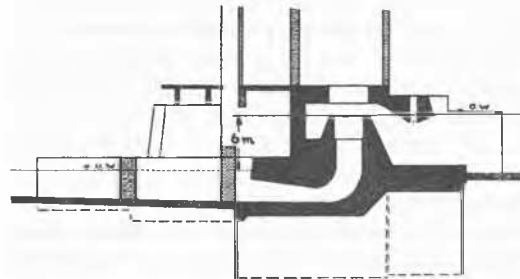


Fig. 6 Coupe de l'usine des forces motrices à Hessigheim
Profile of the Power Plant Hessigheim

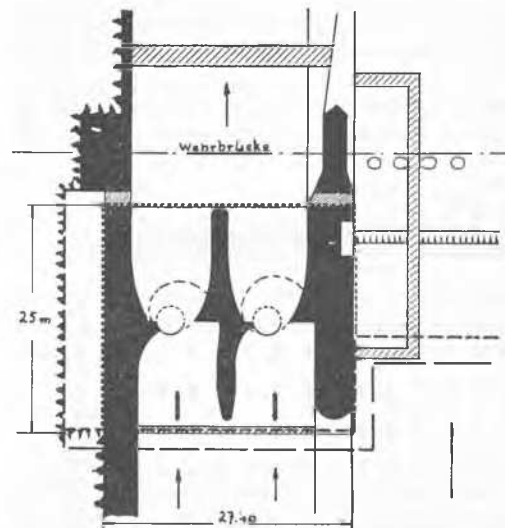


Fig. 7 Plan de l'usine des forces motrices à Hessigheim
Plan from Above of the Power Plant Hessigheim



Fig. 8 Soulèvement de la dalle de fondation par rapport aux palplanches
Raising of the Foundation Slab in Comparison with the Sheet Piling



Fig. 9 Soulèvement de l'usine par rapport à la maçonnerie avoisinante
Raising of the Power Station in Comparison with the Surrounding Stone Work

d'appui (Fig. 6). C'est à travers ces trous de forage que le ciment devait être injecté. L'écoulement latéral du ciment devant être empêché par les écrans de palplanches, l'élévation du bâtiment devait se produire dès que la pression d'injection était suffisante.

Comme il a été déjà dit plus haut, l'observation des mouvements du bâtiment avaient démontré que, de toute évidence, les affaissements étaient indépendants de la charge, car des parties du bâtiment ne portant aucune charge s'étaient considérablement plus affaissées que le bâtiment lui-même qui était relativement lourd. C'est pourquoi il fallait également envisager la possibilité d'espaces vides formés sous le bâtiment, vides qu'il importait d'obtenir par une injection préparatoire avant de pouvoir songer au soulèvement. Les travaux se divisaient donc en deux parties nettement distinctes, à savoir :

- a) les injections préparatoires, qui devaient créer les conditions nécessaires au soulèvement, et
- b) l'injection de soulèvement proprement dite, qui devait ramener le bâtiment à sa position normale.

L'ensemble des travaux d'injection dura environ trois mois, dont la moitié fut nécessaire aux injections préparatoires. Le coulis de ciment spécialement développé pour le soulèvement commença par pénétrer sans pression sous les fondations. Après que divers points d'écoulement d'eau dans l'écran de palplanches eurent été obturés, la pression d'injection commença à monter. On put observer alors, à la circonférence du bâtiment, que le sous-sol cédait lentement sur les côtés de sorte que des parties de bâtiments en dehors de l'usine des forces motrices furent soulevées de plusieurs millimètres. Après une observation exacte du bâtiment et de son voisinage, la position définitive des trous de forage nécessaires au soulèvement fut déterminée et les bases des coudes de turbines furent solidement étayées contre le plafond.

Il fut alors procédé aux injections de soulèvement proprement dites, en suivant un système déterminé tiré des expériences que le bâtiment avait fournies. Dans les premières journées, les soulèvements réalisés étaient faibles; ils étaient de l'ordre de fractions de millimètres seulement. Au fur et à mesure que les travaux avançaient, l'étendue du soulèvement augmentait, permettant de réaliser ainsi des mouvements de l'ordre de 10 à 11 mm par jour.

Le bâtiment qui s'était affaissé d'environ 7 cm du côté amont au coin de la terre, et de 17 cm au coin diamétralement opposé, fut d'abord basculé autour de la diagonale de base pour le ramener dans la position horizontale, puis soulevé uniformément. Vers la fin du procédé d'injection, la vitesse de soulèvement fut ralentie afin de ne pas amener le bâtiment au-dessus de sa position théorique par un soulèvement unilatéral. La position théorique initiale une fois atteinte, les travaux se trouvaient achevés avec succès.

Comme il était tout à fait possible que le processus d'affaissement fit de nouveaux progrès, il fallait envisager que des soulèvements ultérieurs du bâtiment pourraient s'avérer nécessaires. Afin de pouvoir alors effectuer ces travaux rapidement et à peu de frais et, avant tout, avec le moins d'interruption de service possible, il a été réalisé un système de trous de forage, accessibles pendant l'exploitation et par lesquels les futures injections pourront être effectuées.

Pour les injections, il a été utilisé un jeu de machines de 2 pompes à haute pression dont chacune fut alimentée par deux mélangeuses travaillant alternativement. En total, il a été consommé 900 tonnes de ciment, dont le tiers environ pour l'injection préparatoire. Par contre, le volume de ciment théoriquement nécessaire au soulèvement était de l'ordre de 150 tonnes seulement. On pourrait en conclure que le reste a dû être utilisé pour le déplacement et la compression du sous-sol.

Lors du procédé de soulèvement, les écrans de palplanches nouvellement installés furent laissés en place de sorte que le bâtiment a glissé vers le haut à la façon du piston d'une presse dans son cylindre. La Fig. 8 montre le mouvement relatif entre ces palplanches et la plaque de fondation, à l'endroit du plus fort soulèvement au coin aval, côté eau. La Fig. 9 montre au coin aval, côté terre, le soulèvement du bâtiment par rapport à la maçonnerie environnante.

Les frais engagés étaient relativement réduits. Ces frais y compris tous les travaux préparatoires ainsi que l'adduction des eaux, n'étaient pas supérieurs au coût d'une fondation en profondeur, si celle-ci avait été exécutée au cours des travaux de construction. Les travaux d'injection proprement dits – c'est-à-dire l'injection préparatoire et le soulèvement – s'élevèrent à moins de la moitié du prix du ciment injecté.

Les deux travaux ont été exécutés par la Société Frankipfahl-Baugesellschaft mbH. de Dusseldorf.