

Extraction du chlore et ré-alcalinisation électrochimique des bétons par anode active



Présentation

La durabilité des armatures du béton armé est assurée par leur enrobage de béton sain qui contient encore une réserve en chaux et alcalins assurant le maintien du milieu basique (pH \approx 12 à 13).

Lorsque le béton se carbonate, le pH diminue et, les aciers n'étant plus protégés (pH < 9), la corrosion peut démarrer. Ce phénomène conduit au foisonnement des aciers qui provoque l'éclatement du béton.

Extraction du chlore et ré-alkalinisation électrochimique des bétons par anode active

La modification de l'environnement protecteur de l'acier se produit :

- par la carbonatation atmosphérique du béton : le pH diminue et, les aciers n'étant plus protégés ($\text{pH} < 9$), la corrosion peut démarrer ;
- par action de circulation de courants de corrosion susceptibles d'apparaître dans la structure entre les zones cathodiques et anodiques qui se succèdent le long d'une armature (corrosion galvanique) ;
- par action de contaminants corrosifs provenant de l'environnement extérieur (chlorures ou autres contaminants) ainsi que les additifs introduits au cours du malaxage des composants (par exemple le chlorure de calcium utilisé comme antigel). Dans le cas d'une contamination par les ions chlorures, l'acier des armatures est directement attaqué et se transforme en chlorure ferrique. On parle de corrosion dissolvante.

Lorsque ces altérations font l'objet de réparations classiques par purge et ragréage qui relèvent le pH de la zone réparée, l'armature est protégée localement mais, dans les deux parties adjacentes, le pH du béton peut être beaucoup plus faible ; il peut alors se développer une nouvelle pile de corrosion (création d'une anode induite par effet de bord). Quelques années après la réparation, apparaissent de nouveaux désordres. Une telle réparation n'est donc pas forcément pérenne.

La technique d'extraction des chlorures et de ré-alkalinisation par anode active fait partie des dispositions à prendre pour limiter une réapparition trop rapide des phénomènes de corrosion. Cette méthode électrochimique est une variante de la technique par courant imposé.

Recommandations

Modes opératoires

La déminéralisation électrochimique par anode sacrificielle permet d'extraire les chlorures du béton et la ré-alkalinisation électrochimique a pour but d'augmenter le pH du béton.

Ce traitement est temporaire, la durée d'application est de 4 à 5 semaines.

Ces méthodes de traitement font l'objet de divers brevets.

L'expérience montre que la déminéralisation n'est jamais totale, seuls 50 à 80 % des chlorures peuvent être éliminés. C'est suffisant si le taux en chlorures passe en dessous du seuil critique [FABEM 1 - article 3.2.6.3.3.3].

Ces opérations sont réalisées au moyen d'une anode active directement reliée à l'armature (création d'un courant galvanique) [FABEM 1 - article 3.3.4.3.4]. Dans cette méthode, la déchloruration et la ré-alkalinisation peuvent être effectuées en même temps.

L'électrolyte d'imprégnation est formulé pour permettre simultanément ces deux opérations sur le support béton à traiter.

L'anode, constituée d'une grille métallique dont le potentiel normal est inférieur à celui des armatures (aluminium, ou alliage d'aluminium), est reliée directement aux armatures de la structure à traiter. Au préalable, les aciers présentant des délaminations auront été traités avec enlèvement de la calamine et de la rouille non adhérente. La continuité électrique de toutes les armatures de la zone à traiter doit être assurée et tous les objets métalliques électriquement isolés du circuit doivent être enlevés ou raccordés au circuit.

Recommandations

Étapes du traitement

- mise en place par projection ou extrusion d'une couche de pâte saturée d'électrolyte sur le béton ;
- mise en place de l'anode (grille) métallique qui est, d'une part, fixée sur une baguette qui l'isole du parement béton et, d'autre part, au contact de la pâte ;
- connexion de l'anode au circuit électrique, à partir de ce moment le traitement est actif ;
- humidification périodique de la pâte avec de l'eau ;
- suivi des tensions et courants, prélèvement d'échantillons de béton en cours de traitement pour analyses (alcalinité, taux de chlorures) ;
- dépose de l'ensemble de l'installation, la pâte imbibée est retirée par lavage HP et l'anode métallique est déposée ;
- rinçage à l'eau basse pression.

Matériel [FABEM 1 - article 3.6.4.14]

- les appareils de mesure permettant de connaître : la position et l'enrobage des armatures ainsi que leur continuité électrique, la profondeur de carbonatation, la courbe pénétration/dosage des chlorures, le voltage et l'ampérage développés et la durée du traitement ;
- les dispositifs nécessaires à l'étude des risques éventuels d'alcali-réaction ;
- l'anode, sous forme d'une grille métallique dont le potentiel normal est inférieur à celui des armatures (aluminium ou alliage d'aluminium) ;
- la solution électrolytique alcaline et son support (cellulose sous forme de pâte à papier), qui permet le passage du courant et apporte les alcalins au béton (ré-alkalinisation). Le revêtement de cellulose doit avoir une humidité sensiblement constante, ce qui impose une protection contre les intempéries (vent, pluie et soleil) ;
- des câbles isolés de couleur qui sont reliés à l'anode et à la cathode.

Les méthodes de traitements électrochimiques du béton sont effectuées par des procédés d'entreprises qui sont brevetés. Les techniques à mettre en œuvre sont proposés par l'entrepreneur à l'acceptation du maître d'œuvre, qui a lieu après les résultats de l'épreuve de convenance.

Recommandations

Points importants

L'ajout d'alcalin lors du traitement impose une étude préalable sur les agrégats pour des risques éventuels d'alcali-réaction.

Les méthodes électrochimiques peuvent fragiliser les armatures de précontrainte (dégagement d'hydrogène) vis-à-vis de la corrosion fissurante sous tension, ou rendre le béton sensible à une alcali-réaction ; il est donc nécessaire de faire des essais préalables avant toute expérimentation.

ATTENTION. Comme pour le traitement par courant imposé, cette méthode ne s'applique que si la profondeur de carbonatation, ou celle de pénétration des chlorures d'origine externe, ne dépasse pas l'épaisseur de l'enrobage. De plus, la déchloruration n'est pas possible si le béton est totalement saturé en sulfate car le procédé de réalcalinisation apporte du sodium(Na) qui peut se combiner aux sulfates en créant des composés expansifs.

Après réparation, il est indispensable de protéger le béton par un revêtement puisque les agents agressifs peuvent de nouveau pénétrer dans le béton après l'arrêt des traitements électrochimiques. Il faut attendre environ un mois avant d'appliquer le revêtement, pour que la couche superficielle du béton soit légèrement carbonatée afin d'éviter l'attaque du revêtement par les alcalins.

Normes

*la ré-alkalinisation fait l'objet d'un fascicule de documentation européen **FD CEN/TS 14038-1***

NF EN ISO 12 696 Avril 2012 Exigences de performance pour la protection cathodique de l'acier dans le béton à base de ciment, pour les structures nouvelles comme pour les structures existantes

Norme déchloruration DD CEN/TS 14038- 2

Traitements électrochimiques de ré-alkalinisation et d'extraction de chlorures applicables au béton armé -
Partie 2 : Extraction de chlorures

EN 15-257 La certification de la compétence en Protection cathodique

Proposition de plan de contrôle

Phases	Points de contrôle	Moyens de contrôle
Préparation	Mesure de profondeur des aciers (enrobage)	Ferroskan si < 9 cm Radar si > 9 cm/parement
Préparation	Contrôle de la sensibilité des agrégats à l'alcali réaction	Test de la lame mince en pétrographie sous lumière polarisante
Préparation	Qualité personnel	Qualification avec formation Niveau 1 (personnel chantier) conformément à la norme NF EN ISO 12696
Préparation	Mesure de la profondeur et du taux de carbonatation de bétons	- Éprouvettes exclusivement carottées lg 2 cm derrière l'armature sans la couper - Tests à la phénolphtaléine
Préparation	Mesures du taux d'ions chlorures selon la profondeur % en poids de béton	- Éprouvettes carottées ou récupération de poudres de perçage - Test en laboratoire
Préparation	Mesures du taux des sulfates selon la profondeur % en poids de béton	- Éprouvettes carottées ou récupération de poudres de perçage - Test en laboratoire
Préparation	Nettoyage des aciers oxydés	Visuel
Préparation	Vérification de la continuité électrique avec l'ensemble entre anode et l'ensemble de ferrailage	Appareils de mesure contrôle de potentiel norme NF EN 12696
Travaux	Contrôle de l'humidification du support et du revêtement cellulosé	Suivi visuel
Travaux	Contrôle des paramètres électriques voltage et ampérage	- Mesure des paramètres 2 fois par jour - Personnel Niveau 1
Fin d'opération	Mesure des taux de chlore résiduel Objectif < 0,06 % du pds de béton ou 0,4 % pds ciment	- Éprouvettes carottées ou récupération de poudres de perçage - Test en laboratoire
Fin d'opération	Mesure de l'efficacité de la ré-alkalinisation pH > 10	- Éprouvettes carottées devant l'armature sans la couper - Tests à la phénolphtaléine : anneau rose violet 1 cm autour de l'armature