

cement/0502/malis.doc

aantal woorden: 2168

aantal illustraties: 9

Constructie & uitvoering

Tunnelbouw

chapeau

Onderdoorgang Maliskamp in A59

titel

Forse bouwkuip met onderwaterbeton

auteurs

ing. H. van Ooijen en ing. P. Timmerman, Delta Marine Consultants bv

intro

De ombouw van de oude N50, Rosmalen - Geffen, tot autosnelweg A59 is het eerste wegenbouwproject in Nederland dat in een Publiek-Private Samenwerking (PPS) tussen de overheid en het bedrijfsleven wordt gerealiseerd. Daarbij verzorgt de bouwcombinatie Poort van Den Bosch niet alleen de bouw, doch ook de voorfinanciering en gedurende 15 jaar het onderhoud. Met de in het Tracébesluit opgenomen kunstwerken (fig. 1) worden alle gelijkvloerse kruisingen omgebouwd naar ongelijkvloerse. Het verkeer dient hierbij te allen tijde over twee rijstroken te kunnen beschikken. In dit artikel wordt nader ingegaan op de onderdoorgang Maliskamp.

body

De autosnelweg gaat ter hoogte van de kruising Maliskamp over een lengte van 600 m over in een verdiepte ligging. De onderdoorgang van gewapend beton is verdeeld in 25 moten, met een lengte variërend van 19 tot 25 m, waarvan achttien open (1 t.m. 9 en 17 t.m. 25) en zeven gesloten (10 t.m. 16). Boven het gesloten deel bevindt zich op maaiveldhoogte een rotonde ten behoeve van het lokale verkeer en de op- en afritten naar de A59 (foto 2). Voor het verkeer is tijdens de bouwperiode gekozen voor een omleiding (4-0 systeem) aan de zuidzijde, waardoor de onderdoorgang in zijn geheel kan worden gebouwd en er aan de noordzijde ruimte is voor het bouwterrein.

In het aanbiedingsontwerp was voorzien het kunstwerk te bouwen in een bouwkuip met door groutankers verankerde damwanden, trekpalen en onderwaterbeton. Dit ontwerp is geoptimaliseerd door een gedeelte van de toeritten als gewichtsconstructie uit te voeren, op staal gefundeerd, en een gedeelte van de bouwkuip te voorzien van bemaling in plaats van onderwaterbeton.

De damwanden van de bouwkuip worden na gereedkomen van de betonnen bak getrokken.

De ombouw van de aansluiting Maliskamp is gestart in september 2003 en zal omstreeks september 2005 zijn voltooid. Voorzien is de gehele autosnelweg eind december 2005 op te leveren.

Geotechnische gegevens

Het maaiveld ligt op circa NAP + 5,50 m. De bovenste zandlaag tot NAP - 4,00 m is losgepakt, daaronder ligt matig tot vastgepakt zand, op wisselende dieptes doorsneden door relatief dunne klei- en leemlaagjes, in dikte variërend van 0,50 tot 1,00 m. Beneden NAP - 15,00 m worden zand- en grindlagen aangetroffen.

Tijdens de aanbidding waren er alleen 60 sonderingen tot circa NAP - 20,00 m beschikbaar. Bij de bepaling van het benodigde aanvullende grondonderzoek is uitgegaan van een fundering op staal onder de toeritten en op trek- en drukpalen onder de tunnel. Uitgevoerd zijn twee boringen met een lengte van 10 respectievelijk 20 m voor bepaling van korrelverdeling, volumegewichten en watergehalte, alsmede voor samendrukkingsproeven op klei-/leemmonsters voor bepaling van de parameters voor de zettingsberekening.

De gemiddelde grondwaterstand bedraagt NAP + 3,81 m, de hoogste NAP + 4,24 m en de laagste NAP + 2,70 m.

Aan de hand van deze gegevens is een geotechnisch lengteprofiel samengesteld op basis waarvan een indeling is gemaakt in geotechnische deelgebieden. Per deelgebied is een representatief grondprofiel met de bijbehorende grondparameters opgesteld.

De geotechnische parameters zijn bepaald aan de hand van NEN 6740, tabellen 1, 2 en 3.

Fundering op staal

Op basis van de geotechnische gegevens is de grens bepaald tot waar de betonnen bak op staal kan worden gefundeerd. De constructie is hierbij gecontroleerd op opdrijven, optredende zettingen en zettingsverschillen tussen de fundering op staal en die op palen. Daarbij is het gewicht van de betonnen bak gevarieerd door het toepassen van dikkere vloeren en/of door grond belaste oren aan de zijkant van de bak. Een optimum is gevonden bij ongeveer 50 m vanaf het begin van beide inritten. Het overige deel van de onderdoorgang is gefundeerd op palen.

De toetsing van de draagkracht en de berekening van de zettingen is uitgevoerd conform NEN 6744. De te trekken damwand van de bouwkuip wordt op een dusdanige afstand van de fundering geplaatst, dat deze nauwelijks invloed heeft op de draagkracht.

Paalfundering

Het grootste deel van de paalfundering bestaat uit prefab voorgespannen palen $400 \times 400 \text{ mm}^2$ en $450 \times 450 \text{ mm}^2$, beton B 55, met een minimale voorspanning van $5,5 \text{ N/mm}^2$ op basis van heianalyses, en een gemiddelde lengte van 13,5 m. De kopwapening varieert van $8\text{Ø}16$ tot $8\text{Ø}25$, afhankelijk van de locatie onder de betonconstructie. Onder de waterkelder ter plaatse van moot 14 zijn vibro-combipalen toegepast ($\text{Ø} 610$ met prefab paal $350 \times 350 \text{ mm}^2$) in verband met de grote trekkrachten in de bouwfase en de heikbaarheid.

Het dimensioneren van de drukpalen (gebruiksfase) en de bepaling van de paalkopzakkingen is gebaseerd op NEN 6743, rekening houdend met het trekken van de damwanden van de bouwkuip. Maatgevend voor de palen in de bouwkuip met onderwaterbeton zijn de trekbelastingen in de bouwfase. De trekcapaciteiten van de palen zijn bepaald met behulp van een spreadsheets volgens CUR-rapport 2001-4, rekening houdend met reductie van de conuswaarden ten gevolge van ontgraving van de bouwput. Ook in de gebruiksfase is er sprake van trek in de palen, waarbij rekening is gehouden met het trekken van de damwanden.

Bouwkuip

De bouwkuip is verdeeld in acht compartimenten en bestaat uit damwanden (AZ18 t.m. AZ48), bovenin verankerd met groutankers en gestempeld door onderwaterbeton (fig. 3). Door de breedte van de bouwkuip (ongeveer 32 m) was een stempeling door middel van een stallconstructie bovenin niet economisch.

Ter plaatse van de waterkelder is vanwege de grote diepte wel een tijdelijk stempelraam met gordingen en buisprofielen aangebracht.

De damwandberekening is uitgevoerd met het programma 'Bouwput' van DMC/BAM Civiel. Dit programma dimensioneert de damwand op basis van een verenmodel volgens de berekeningsmethode van CUR-rapport 166. Hiermee worden het meest economische profiel, de inheidiepte en het planktype inclusief verankering bepaald.

De onderwaterbetonvloer met trekpalen is berekend en getoetst conform CUR-rapport 77.

Uitgangspunt was een vloerdikte van 1,0 m, waarbij het palenstramien werd gevarieerd. Hiervoor is een spreadsheet gemaakt, waarmee zowel de krachtsverdeling is bepaald als de betonvloer is getoetst. Een onderdeel daarvan is een berekening met een model van een verend ondersteunde ligger, waarbij de volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- onderscheid in rand- en middenpalen (veerstijfheid en draagvermogen);

- verschil van de veerwaarden tussen de damwand en de palen:

combinatie A: damwand hoog - palen gemiddeld;

combinatie B: damwand gemiddeld - palen laag;

factor 'gemiddeld' ten opzichte van 'hoog' of 'laag' is $\sqrt{2}$;

- op de damwanden worden geen voorzieningen aangebracht voor de krachtsoverdracht. Gerekend wordt met een minimum-oplegreactie gebaseerd op 30% van de stempelbelasting en een maximum-oplegreactie gebaseerd op het trekdraagvermogen van de damwand.

Voor het onderwaterbeton bleek combinatie A (hoge veerstijfheid damwand en gemiddelde veerstijfheid palen) en een maximale oplegreactie van de damwand maatgevend, voor de trekpalen combinatie B met een minimale oplegreactie. Voor deze bouwkuip was voor de toetsing van het onderwaterbeton de krachtsverdeling in de uiterste grenstoestand in de korte richting altijd maatgevend.

In de spreadsheet wordt tevens de verbinding tussen het onderwaterbeton en de trekpalen getoetst.

De trekpalen zijn voorzien van tweezijdige uitwendige ribbels.

Verwijderd: - en drie

Bemaling

Voor het toepassen van een bouwkuip zonder onderwaterbeton is bemaling nodig. Met een geohydrologisch model is de bemaling gedimensioneerd, waaruit het te onttrekken debiet en de verlaging van de grondwaterstand in de omgeving waren te bepalen.

Op basis van dit model, de risico's voor de uitvoering en vergelijking van de kosten van de bemaling en de mogelijke besparing, is besloten de toerit aan de oostzijde te voorzien van onderwaterbeton. Aangezien de eerste 50 m op staal wordt gefundeerd, wordt over dit deel onderwaterbeton als gewichtsvloer toegepast.

Aan de westzijde kon door de aanwezigheid van een slecht doorlatende klei-/leemlaag een bemaling worden toegepast, aangebracht binnen de bouwkuip en boven de afsluitende laag. Omdat er onduidelijkheid was over de lokale aanwezigheid van de slecht doorlatende laag, is een deel van de kuip voorzien van compartimenteringschermen waarbinnen optioneel nog een onderwaterbetonvloer kon worden toegepast (foto 4). Na het aanbrengen van de damwanden en vóór ontgraving van dit deel is hier een pompproof uitgevoerd, waaruit bleek dat ook dit deel voldoende afsluitend was.

Betonconstructie

De open toeritten bestaan uit een gewapend-betonvloer met een minimale dikte van 800 mm. De buitenwanden hebben een dikte van 500 mm, onderin 800 mm (fig. 5). De rijbanen zijn gescheiden door een 1,20 m hoge voertuigkering van 800 mm dikte.

Het gesloten deel bestaat uit een gewapend-betonvloer met een minimale dikte van 1000 mm. De buitenwanden zijn 1000 mm dik, de tussenwand 800 mm en het dek 900 mm. Vanwege de overgang van licht naar donker is ter plaatse van de twee buitenste gesloten moten (10 en 16) een driehoekige sparing met randbalken aangebracht (foto 5). Voor daglichttoetreding is ter plaatse van de middelste moot (13) een ronde sparing voorzien met een diameter van 15 m met rondom een randbalk van 1 m breedte en een hoogte boven het dek van 2,5 m (foto 6, fig. 7). Rondom deze sparing wordt de rotonde aangelegd. Vooral deze moten waren qua ontwerp en uitvoering een uitdaging.

Ter plaatse van de daksparringen is de tussenwand vervangen door een voertuigkering.

De rijbanen van de onderdoorgang liggen onder een verkanting van 2,5%.

De gehele constructie is uitgevoerd in ter plaatse gestort beton B 35, milieuklasse 3. Het ontwerp is mede gebaseerd op de ROBK (Richtlijnen Ontwerp Betonnen Kunstwerken) versie 5, waarin naast de bekende VOSB-belastingen een verkeersbelasting is gedefinieerd, afgeleid van de verkeersbelasting uit de Eurocode. Omdat van tevoren niet is aan te geven welk belastingsgeval per te toetsen grenstoestand maatgevend is, volgens de VOSB of volgens de ROBK, is het aantal belastingsgevallen en -combinaties verdubbeld. Dit heeft duidelijk tot extra rekenwerk geleid, vooral ook door de, toen nog, onbekendheid met deze verkeersbelasting.

Op basis van de resultaten kan wel worden gesteld dat de ROBK-belasting over het algemeen maatgevend is voor de hoeveelheid wapening. Dit geldt ook voor de viaducten over de A59, bestaande uit prefab kokerliggers, waarbij de ponsbelasting tot een verzwaring van de bovenflens van de koker heeft geleid. Dit is weer van invloed op de ondersteuning en fundering.

Volgens de ROBK moet ook rekening worden gehouden met het belastingsgeval aardbeving, dat echter niet maatgevend was.

Voor het bepalen van de krachtsverdeling in de constructie is gebruikgemaakt van de lineaire elasticiteitstheorie.

Voor het ontwerp van de moten met de sparingen in de dekken is de constructie drie-dimensionaal ingevoerd in een eindige-elementenprogramma (ESA-Prima Win). Het model (fig. 8) wordt opgebouwd uit op elkaar aansluitende platen, waarbij de randbalk rondom het dak wordt ingevoerd als een verstijvingsbalk. Uit dat model volgt voor de randbalk de benodigde buigwapening in langsrichting, de dwarskracht in twee richtingen, maar ook de wringing en de ophangwapening. Voor de buigwapening in dwarsrichting is volstaan met een handberekening. In eerste instantie was er nog een tweede model gemaakt waarin de randbalk als cilindervormige schijf was ingevoerd. De randbalk kan namelijk ook als een wand worden beschouwd. Bij de analyse van de (normaal-)krachten in de schijf bleek dat de modellering als randbalk ongeveer gelijke resultaten oplevert.

De randbalken zijn scharnierend aan het dak geschematiseerd om de wringing (compatibiliteitswringing, die niet nodig is voor het evenwicht) in de randbalk te verlagen. Hierdoor nemen de snedekrachten in het dek wel toe.

De palen zijn als lineaire veren ingevoerd met horizontale en verticale veerstijfheden en rotatiestijfheden.

Zoals te verwachten was, is de hoeveelheid wapening in de randbalken vrij fors, ongeveer 195 kg/m³. De langswapening is in verschillende lagen aangebracht, met een minimale tussenruimte van 50 mm (fig. 9). Omdat de sparingen rond zijn, moet langswapening gebogen worden aangebracht. In één laag heeft elke wapeningsstaaf een eigen straal en dit vraagt enige nauwkeurigheid om voldoende ruimte tussen de staven te houden voor het betonstorten. Tevens is de locatie van de lussen van belang. Ook de verbinding van het dek en de randbalk geeft een concentratie van wapening, met name doordat de wapening van de randbalk, beugels, ophangwapening en langswapening, niet haaks op de dekwapening ligt. Hierdoor ontstaat een aantal lagen, maximaal vijf, die elkaar overlappen.

In overleg met de uitvoering is in vloeren en dekken een minimale staafafstand van 150 mm aangehouden. Dit heeft plaatselijk geleid tot een derde en vierde laag wapening, maar kwam de uitvoerbaarheid ten goede. Tevens was het een voordeel dat de dwarskrachtwapening in vloeren en dekken om de derde laag kon worden gelegd. Daarbij kwam weer als voordeel dat de derde laag tezamen met de beugels kon worden geprefabriceerd en direct kon worden neergelegd. Het toepassen van een derde en/of vierde laag leverde iets meer wapening op (minder dan 5%) maar leverde in combinatie met de toepassing van geprefabriceerde wapening op rolmatten (tot rond 25 mm) voldoende uitvoeringstechnische voordelen op. Al met al is er voor dit kunstwerk 26 000 m³ constructiebeton (excl. onderwaterbeton) en 3 000 ton staal inclusief hulpstaal verwerkt.

Projectgegevens

Opdrachtgever:

Provincie Noord-Brabant

Ontwerp:

Multiconsult i.s.m. Delta Marine Consultants

Aannemer:

Combinatie Poort van Den Bosch: BAM, Boskalis, Fluor

Bouwsom:

€ 218 miljoen

Bijschriften

- 1 Situatie ombouw N59 in A59
- 2 Nieuwe aansluiting Maliskamp, situatie januari 2005
luchtfoto Aeroview - Dick Sellenraad
- 3 Dwarsdoorsnede bouwkuip
- 4 De bouwkuip met compartimenteringsschermen
luchtfoto Aeroview - Dick Sellenraad
- 5 Dwarsdoorsnede open toeritten, moten 9 en 17
- 6 Daglichtsparingen in het tunneldek
luchtfoto Aeroview - Dick Sellenraad
- 7 Dwarsdoorsnede moot 13 met ronde sparing
- 78 3D-model moten 10 en 16
- 9 Wapening dek en randbalk ter plaatse van ronde sparing in moot 13