

Abstract

In this work, a conceptual design methodology is developed for modular lightweight structures, consisting of hyper-shaped construction elements. The construction elements all have a sandwich cross-section and faces in cement matrix composites. Due to the lightweight characteristic of the structures under study, the environmental loadings and specifically their fluctuations become important structural issues, as is their effect in serviceability limit state. They are accounted for in a quasi-static design approach in which an initial static design (that is obtained as is the case for common heavy-weight structures) is adapted through subsequent static calculation-iterations, accounting for the changed live load and related material response. The most important live load to consider is the wind, since wind exhibits high fluctuations on a daily basis. In this work, the wind is defined deterministically through the use of long term data yielding different combinations of {frequency of occurrence, wind direction, wind force}. The non-elastic cement matrix composites, in which the structures are materialized, respond to the repeated wind loading by a reduction in stiffness and an increase in residual strain. Both material properties are modelled in this work at four distinct tensile stress levels through the use of phenomenological material models. Finally, the conceptual design methodology that combines the determination and application of the wind and the related material response is then validated according to several case-studies.

Samenvatting

In dit werk wordt een conceptuele ontwerpmethodologie ontwikkeld voor modulaire lichtgewicht structuren, opgebouwd uit hyper-vormige constructie elementen. De constructie elementen zijn sandwich panelen met huiden uit cement matrix composieten en zijn dus lichtgewicht elementen. Daardoor krijgen de omgevingsbelastingen alsmede hun fluctuaties een belangrijke invloed op de structuren. De gebruiksgrenstoestand wordt eveneens belangrijker dan bij zwaargewicht structuren. De veranderlijkheid van de omgevingslasten wordt in rekening gebracht door middel van een quasi-statische ontwerp aanpak. Het initieel bekomen statische ontwerp (gedimensioneerd zoals elke andere structuur) wordt aangepast in een iteratieve statische berekening, waarin rekening gehouden wordt met de veranderde last en het gerelateerde veranderde materiaalgedrag van de structuur. De belangrijkste veranderlijke last voor dakstructuren is een gevolg van de wind, aangezien de wind dagelijkse en grote fluctuaties ondergaat. In dit werk wordt de windlast op een deterministische wijze berekend door gebruik te maken van lange termijn data waaruit verschillende combinaties van {frequentie van voorkomen, windrichting en wind belasting} gestilleerd worden. De zich niet-elastisch gedragende cement matrix composieten waaruit de structuren zijn gemaakt, ondervinden een invloed van de herhaalde wind belasting. Dit uit zich in een stijfheidsverlies en een groter wordende residuele rek per belastingscyclus. Beide materiaaleigenschappen worden in dit werk gemodelleerd voor vier specifieke, geïnduceerde trekspanningen door middel van fenomenologische materiaalmodellen. Tot slot wordt de conceptuele ontwerpmethodologie, dat zowel de bepaling van de windlast als de gerelateerde materiaalgedragingen combineert, gevalideerd aan de hand van verschillende case-studies.

Résumé

L'auteur présente une méthodologie de conception, au stade de l'avant-projet, pour des constructions modulaires assemblant des éléments en forme d'hyperboloïdes paraboliques. Les modules ou éléments de construction considérés sont des sandwichs, les peaux étant réalisées en composites à matrice de type ciment. La légèreté des constructions ainsi réalisées exige que l'on consacre plus d'attention aux charges de service, en particulier les charges environnementales et leur fluctuations, ainsi que leurs effets en états limites d'utilisation (SLS). Ces charges sont prises en compte en une approche quasi-statique, en ce sens qu'un modèle initial, soumis à des charges statiques équivalentes, est modifié lors de chaque pas d'un cycle itératif, qui prend en compte les charges variables et l'évolution de la rigidité structurelle. Ainsi la charge la plus importante est celle induite par le vent, dont l'action est prise en compte de façon déterministe en faisant appel à des données statistiques de longue durée : fréquence d'occurrence des combinaisons {force du vent, direction du vent}. Les composites à matrice de type ciment, constituant les éléments portants du sandwich, réagissent au vent par une diminution de la rigidité et un accroissement des déformations résiduelles. Ces deux types de réactions sont modélisés à quatre niveaux distincts de tension, par l'utilisation de modèles « matériaux » phénoménologiques. Enfin, la méthodologie, qui combine l'évaluation des efforts induits par le vent et des points d'application de ceux-ci d'une part, la réponse du matériau d'autre part, est validée à l'aide de différentes études de cas.