

I S S N 0 3 8 6 - 5 8 7 8

土木研究所資料 第 4316 号

土木研究所資料

先端材料資源研究センター設立記念講演会 講演概要集

平成 2 8 年 1 月

国立研究開発法人土木研究所
先端材料資源研究センター

Copyright © (2016) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

先端材料資源研究センター設立記念講演会 講演概要集

先端材料資源研究センター
材料資源研究グループ

要 旨：

本報告書は、平成 27 年 6 月 11 日に東京都内にて開催した「先端材料資源研究センター設立記念講演会」の概要、講演資料、パネルディスカッション議事録、当日会場で実施したアンケートの集計結果をとりまとめたものである。

キーワード：先端材料資源研究センター，設立記念講演会，概要集

目 次

1.	講演会の概要	-----	1
2.	講演会資料	-----	3
2.1	基調講演	-----	3
	「土木分野における材料開発と今後の研究への期待」		
	長岡技術科学大学 名誉教授 丸山 久一 氏		
2.2	講演 1	-----	13
	「Smart & Resilient Innovative Materials for Infrastructures & Main French & European Research Programs」		
	Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR : フランス交通・空間計画・開発・ネットワーク科学技術研究所)		
	Research Professor Dr. Monssef DRISSI-HABTI		
2.3	講演 2	-----	35
	「有人宇宙施設の構造について		
	国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟の例」		
	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 有人宇宙ミッション本部宇宙環境利用センター きぼう利用プロモーション室 室長 坂下 哲也 氏		
3.	パネルディスカッション資料	-----	45
3.1	パネルディスカッション概要	-----	45
3.2	パネルディスカッションのためのアンケート結果	-----	45
3.3	パネルディスカッション議事録	-----	50
4.	アンケート集計結果	-----	79
4.1	回答者の所属	-----	79
4.2	iMaRRC に期待すること	-----	79
4.3	設立記念講演会で良かったこと	-----	80
4.4	講演会に対する意見・要望	-----	82

1. 講演会の概要

土木材料分野において、研究開発に対する社会的ニーズが変わってきている。例えば、今後高齢化が進む社会インフラを長寿命化することが重要となってきたが、補修・補強用材料等の適用や、土木構造物の耐久性向上に資する材料開発により対応することが求められている。また、建設事業やその他の公共事業由来の廃棄物等を有効利用、それに関連するエネルギーの効率的利用といった低炭素循環型社会形成に向けた研究開発の促進も求められている。

このような中、平成 26 年度に総合科学技術・イノベーション会議が創設した戦略的イノベーション創造プログラムにおいて、「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」が設定され、先端的材料研究が行われることになった。国立研究開発法人土木研究所では、これらのニーズを満足できるような材料資源分野の研究開発を加速化するために、平成 27 年 4 月 1 日に「先端材料資源研究センター (Innovative Materials and Resources Research Center, 略称 iMaRRC)」を設立した。本報告の講演会は iMaRRC の設立を記念し、平成 27 年 6 月 11 日に東京にて開催したものである。

講演会では、国内外の材料開発に携わる研究者による講演や、今後の土木材料分野の展望、iMaRRC の今後の活動に期待することなどをテーマとしたパネルディスカッションを行った。

長岡技術科学大学名誉教授の丸山久一氏による基調講演では、構造物の補強技術のための FRP 材料など新材料開発の事例、センサー技術開発による FEM 解析の精度向上への期待など、土木材料から構造解析まで幅広い分野を対象とした講演が行われた。

講演 1 では、海外の土木材料分野に携わる研究者として、フランス交通・空間計画・開発・ネットワーク科学技術研究所 (IFSTTAR) のモンセフ・ドリッシー・ハブティ博士を招待し、ヨーロッパにおける土木研究ニーズや、構造物の健全度を評価するための光ファイバーセンサー技術の研究事例などが紹介された。

講演 2 では、土木分野以外の材料開発に携わる研究者として、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の坂下哲也氏を招待し、宇宙ステーション「きぼう」の日本実験棟を例に、厳しい環境に曝される宇宙空間であっても人間が過ごせるように厳しい性能を満たし、更に宇宙へ運ぶためにスペースシャトルの積載条件も満足させる材料や構造の研究開発などが紹介された。

表-1.1 講演会のプログラム

1. 基調講演	土木分野における材料開発と今後の研究への期待 長岡技術科学大学 丸山久一名誉教授
2. 講演 1	Smart & Resilient Innovative Materials for Infrastructures, and Main French & European Research Program フランス交通・空間計画・開発・ネットワーク科学技術研究所 モンセフ・ドリッシー・ハブティ博士
3. 講演 2	有人宇宙施設の構造について 国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟の例 宇宙航空研究開発機構 坂下哲也氏
4. パネルディスカッション	テーマ： 未来の土木技術と新技術の利用 パネリスト： 長岡技術科学大学 丸山久一名誉教授 東京工業大学 坂井悦郎教授 鹿島建設 土木部長 坂田昇氏 物質・材料研究機構 元素戦略材料センター長 土谷浩一氏 高速道路総合技術研究所 橋梁資源研究グループ長 紫桃孝一郎氏 土木研究所 材料資源研究グループ長 渡辺博志 モデレーター： 土木研究所 上席研究員 西崎到

講演会の後半では、先端的材料開発を担う研究者や土木構造物の管理、メンテナンスを行っている技術者によるパネルディスカッションを実施した。パネルディスカッションでは、土木構造物の長寿命化のために、材料に求められることや問題となること、今後のiMaRRCの活動に対する期待などが議論された。

官公庁、民間企業、教育機関などから175名が来場し、今後のiMaRRCの研究活動について期待することなど、様々なご意見を来場者から頂いた。アンケート結果の例を表1-2に示す（詳細は4章を参照）。

表-1.2 アンケート結果の例 (iMaRRCに期待すること)

-
- ・ニュートラルな立ち位置で材料研究の中核として発展することを期待する。
 - ・色々な課題について、iMaRRCが集約しハブになることを望む。
 - ・土木材料分野の中核センターとして、幅広い機関との連携に期待する。
 - ・土木材料分野での指導力を発揮して欲しい。
 - ・新材料への取り組みとして、良いもので高いものを使うことも辞さないという方向性が見えて頼もしい。ぜひ、地方自治体へも浸透できるように牽引していくことを期待する。
 - ・良い材料・工法を開発しても発注者に説明する労働力が甚大である。特に発注者への拡大活動も実施できないか。
 - ・検査・モニタリング技術の導入が維持管理・材料評価の高度化・効率化に繋がるので、これらの積極的な活動を期待する。
-

2. 講演会資料

2.1 基調講演

長岡技術科学大学 名誉教授 丸山 久一 氏

土木分野における材料開発と 今後の研究への期待

先端材料資源研究センター設立記念講演会

平成27年6月11日

長岡技術科学大学名誉教授
丸山久一

1. 土木分野で用いられている材料の特性
2. 構造物に求められる性能
3. 材料開発の事例
4. 材料研究の有効性
5. センサー技術・材料開発への期待

1. 土木分野で用いられる材料の特性

- 主要構造材料： 土、コンクリート、鋼、木材
- 上記以外： 高分子材料、無機材料
- 使用形態： 新設構造
既設構造の補修・補強
特殊機能の付与
- 使用量： 大量～少量～微量
- 構造物の環境： 地上、地下、水中
- 構造物の使用期間： 数十年～100年以上

材料開発の形態

- 他分野の材料の活用： FRP、ステンレス鉄筋
- 複数の材料の組合せ（複合化）： FRC、SHCC
- 既存材料の性能改善： 高流動コンクリート、
- ミクロレベルでの新たな組成の開発： 各種の混和剤

開発された材料の展開

- 研究開発において
 - 目的の性能レベルに達した材料
 - 目的の性能レベルに必ずしも達しない材料
 - 当初目的とは異なる性能を発揮する材料
- 適切な適用箇所（材料の特性を活かす用途）の発見
 - 弱点が長所になる場合：膨張コンクリート
 - 開発目的と異なる適用も多い：FRP材料

2. 構造物に求められる性能

安全性： 耐荷性能（疲労、耐震、衝撃）
耐久性： 供用期間中の耐荷性能の確保

構造物に求められる性能の確保

- ★ 設計
- ★ 施工性も含めた材料

2) FRP補強材の開発

(背景)

繊維メーカー

炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維などの用途拡大の模索

土木・建築分野

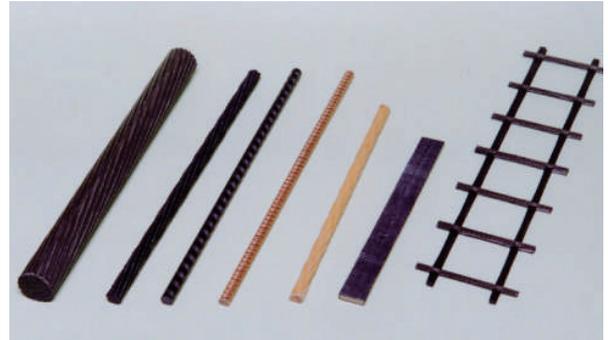
1970年代後半～

コンクリート構造物の鉄筋腐食が顕在化

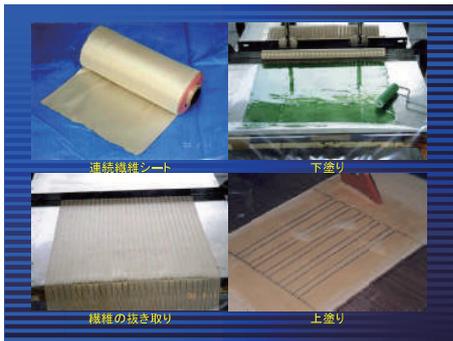
1980年代

錆びない補強材の模索

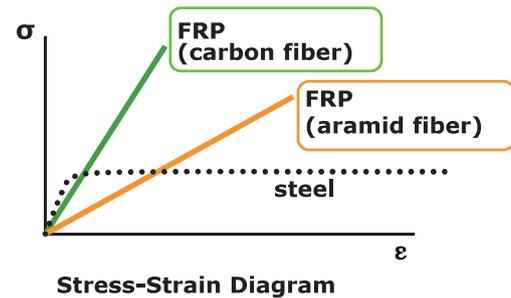
FRP材料（ロッド状）



FRP材料（シート）



応力ひずみ関係



土木建築分野

1980年代

炭素繊維などの繊維を束ねて補強筋とする試みを開始する。

1980年代後半

繊維を樹脂で固めて鉄筋の代替として、鉄筋コンクリート構造に適用する試みを開始する。

1990年代中頃から

繊維をシート状にして樹脂を用いてコンクリート表面に張り付けたり、巻く方法が開発される。

建設省：1988年から5ヵ年計画

「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」

日本建築学会：1988年に研究委員会設置

1995年「連続繊維補強コンクリート：脆性質と設計法」刊行

土木学会：1989年に研究委員会設置

1992年に成果報告のシンポジウム開催

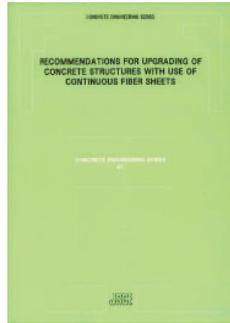
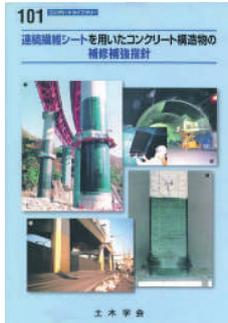
1996年に棒状のFRPについて設計・施工指針（案）刊行

2000年にシート状のFRPについて設計施工指針刊行

日本コンクリート工学協会：1995年に研究委員会設置

1997年に委員会報告刊行

FRPシートに関する指針類（土木学会）



FRPシートによるコンクリート構造物の耐震補強



道路橋橋脚

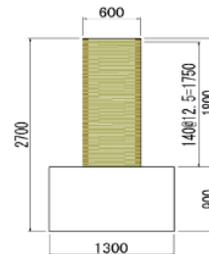


鉄道高架橋

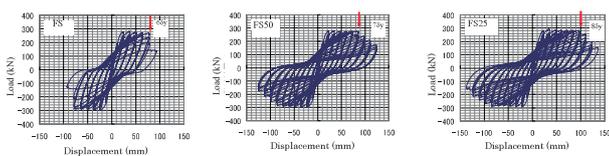
アラミド繊維ロープ



ロープ巻きたて



荷重変位関係



基準RC供試体
帯鉄筋間隔: 200mm
断面幅: 600mm

ロープ間隔: 50mm

ロープ間隔: 25mm

3) 産業副産物や未利用資源の有効利用

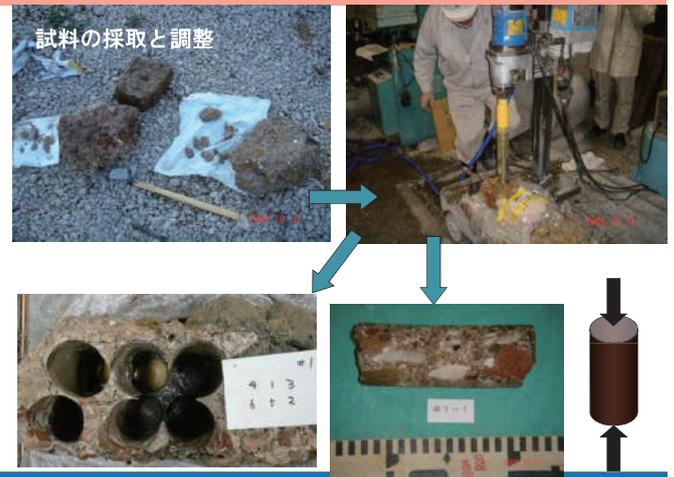
フライアッシュ：ダムコンクリート、ASR対策用
高炉スラグ：一般に使用。水中コンクリート
シリカフェーム：超高強度コンクリート
再生骨材：
コンクリートがら：

構造物の要求性能のレベルに応じて適切に使用

4. 材料研究の有効性



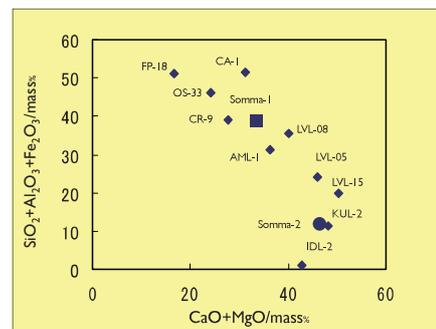
ソマ遺跡における現地調査



モルタル組成の推定

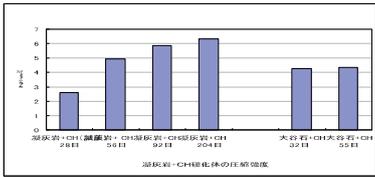
- 石灰と火山灰からなるコンクリートは紀元前55年ポンペイの劇場に初めて出現する。
[素木洋一「セラミックスを考える」(東洋経済新報社)]
- 自然のままに驚くべき効果を生じる一種の粉末がある。これはパーイアエー帯およびウエスウィウス山の周囲にある町々の野に産出する。これと石灰および割り石との混合物は、他の建築工事に強さをもたらすだけでなく、突堤を海中に築く場合にも水中で固まる。
[森田慶一訳注「ウィトルーウィウス建築書」(東海大学出版会)]

モルタル・コンクリートの化学組成

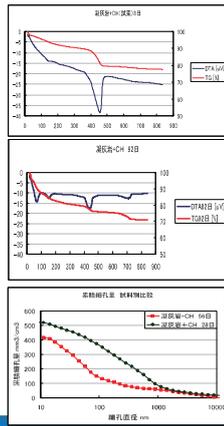


CA-1, CR-9, FP-18, OS-33 Italy, LVL-05, LVL-08, LVL-15: Greece, AML-1, IDL-2, KUL-2: Cyprus
C.A. Langton and D.M. Roy, Longevity of borehole and shaling materials: Characterization of ancient cement based building materials, *Phil. Res. Soc. Proc.* **26**(1984)pp.543.

古代ローマコンクリートに使用された凝灰岩と水酸化カルシウムのポソラン反応



ソルマ凝灰岩と水酸化カルシウムはポソラン反応してC-S-H及びAFmが生成し、炭酸化も同時に進行した。凝灰岩と水酸化カルシウムペースト硬化体の初期強度は低いとその後養生期間の経過とともに穏やかに上昇した。ポソラン反応で強度は増加するが、細孔量が大きくは減少しないため強度が大きくならないものと考えられる。



再現された古代ローマコンクリートの基本的性状

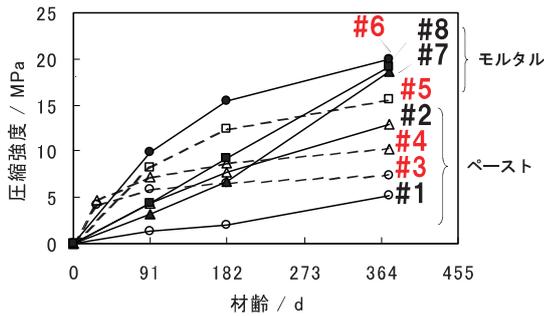
結合材
消石灰/葛生産
火山灰(代替)/FA
凝灰岩粉末/大谷石

骨材
凝灰岩粉砕物/大谷石
レンガ粉砕物

水
水道水

#	配合割合 (質量比)					水
	消石灰	石炭灰	凝灰岩	凝灰岩	レンガ	
1	1	2	—	—	—	0.45
2	2	1	—	—	—	0.45
3	2	—	1	—	—	0.56
4	1	—	2	—	—	0.56
5	1	1	1	—	—	0.56
6	1	2	—	2	—	0.45
7	1	2	—	—	2	0.45
8	1	2	—	1	1	0.45

再現された古代ローマコンクリートの基本的性状



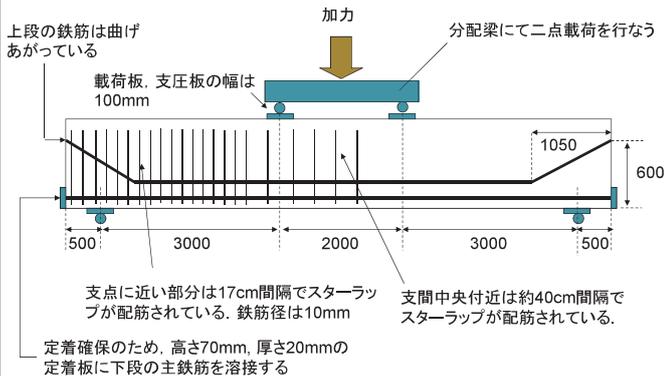
- ・半年で10MPa, 1年で20MPaを超える配合物があった
- ・凝灰岩を含む配合は強度発現が早い

5. センサー技術・材料開発への期待

塩害を受け撤去されたRC桁およびPC桁の荷重実験とFEM解析の結果から見てきたこと



荷重方法の詳細と配筋状況

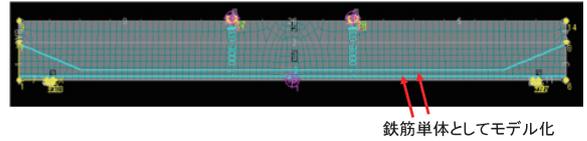


荷重終了時のRC桁の外観



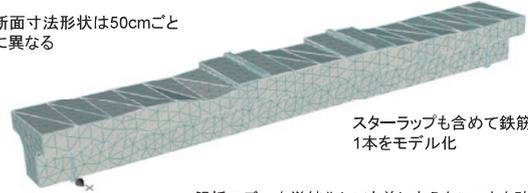
FEM解析

【ATENA2D】



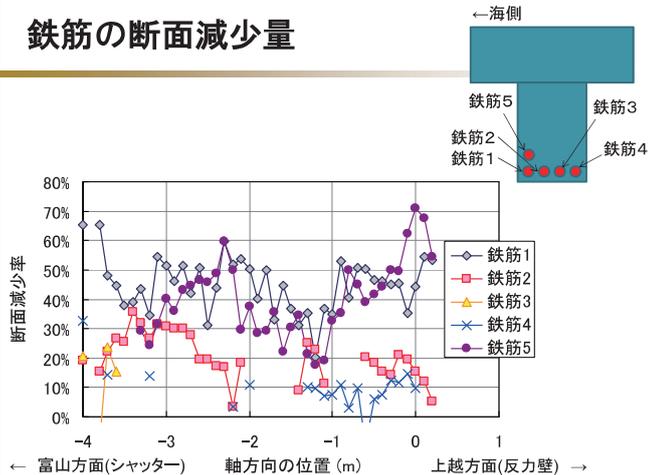
【ATENA3D】

断面寸法形状は50cmごとに異なる



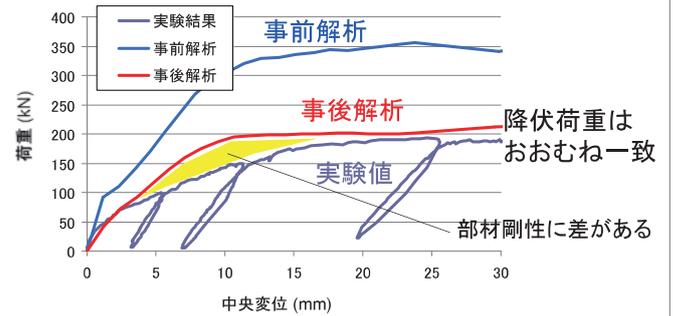
解析モデルを単純化しても差し支えないことを確認

鉄筋の断面減少量



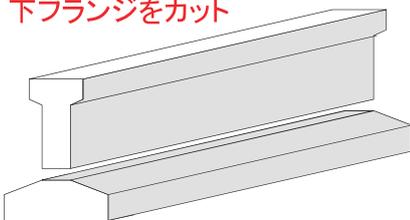
RC桁の実験値と解析値の比較（事後解析）

事後解析: 継ぎ手が露出した鉄筋を除去

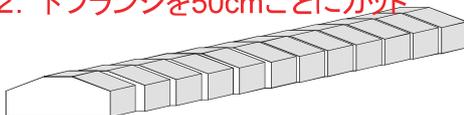


PC桁の解体

1. 下フランジをカット



2. 下フランジを50cmごとにカット



- ・断面観察
- ・鋼材を採取

PC鋼材の腐食状況



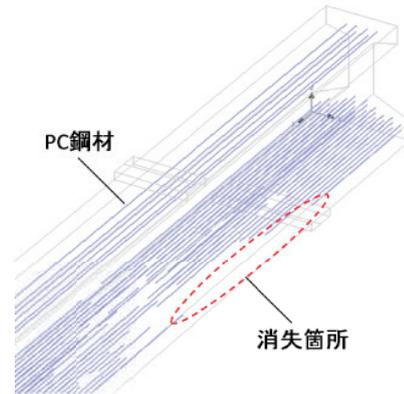
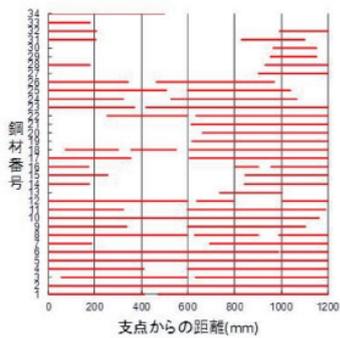
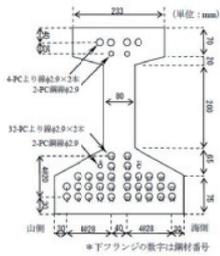
解体・鋼材採取

錆を除去したのちに、

- ・長さ計測
- ・重量測定

を実施

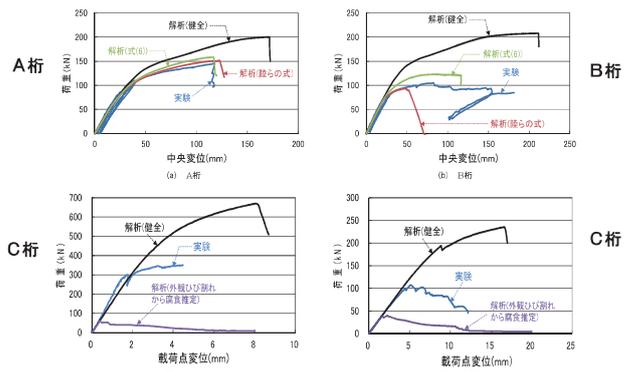




PC桁のFEMシミュレーション



解析結果と実験結果の比較



塩害を受けたRCおよびPC桁の载荷実験と解析の現状

- 1) RC桁においては、鉄筋の腐食状況が詳細に分かると、FEM解析で桁の耐荷性能は精度よく推定可能である。
- 2) PC桁(プレテン)では、PC鋼線が細く、部分的に破断している個所もあり、腐食した鋼線の物性値も変化していることも想定され、解析のより一層の精度向上が必要。
- 3) **非破壊あるいは微破壊で鋼材の腐食状況が把握できると、桁の耐荷性能は解析で予測可能。**

コンクリート構造物の維持管理

コンクリート構造物の耐荷性能はコンクリートの物性と鋼材(鉄筋、PC鋼材)の状態および物性から決定される。それらの物性の変化や状態の変化を定量的に評価できるセンサー技術・材料の開発はコンクリート構造物の維持管理において必須のものとなっている。

コンクリート構造物の長寿命化にとって、コンクリートおよび鋼材の物性変化、状態変化を抑制できる材料、技術の開発は今後も強く求められる。

土木構造物の供用年数は一般に数十年~100年以上が求められている。材料開発においては、材料の耐久性についても適切に評価する技術開発が必要となる。

材料開発に関する研究

直接的：目的に合う材料の開発（構造性能から要求される）

間接的：目的とは違う適用がある場合（材料の基本性能を追求しておく）

不断の調査研究が重要

ご清聴ありがとうございました

Smart & Resilient Innovative Materials for Infrastructures
&
Main French & European Research Programs

M. DRISSI-HABTI, Research Professor
Director of The Consortium DURS (Durability of Smart Composites Structures)
The French Institute for Transports, IFSTTAR
monssef.drissi-habti@ifsttar.fr



Tokyo, June, 11th, 2015

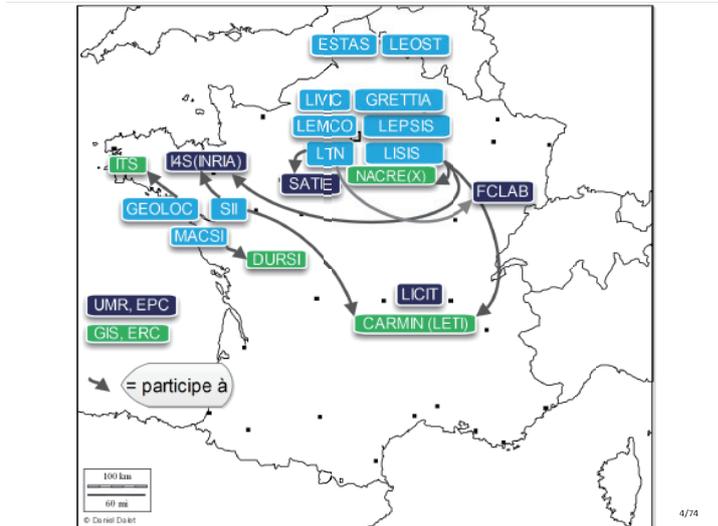


IFSTTAR's Missions ...

IFSTTAR has as the main mission to realize, to manage, to carry-out and evaluate researches, developments and innovations in the fields of urban science, civil engineering, building materials, natural hazards, *mobility of persons and goods, systems and transport means and their security, infrastructures their usage and their impacts*, from the point of view of technical, economical, social, energetic, health and environmental performances

- ### COSYS by Numbers
- ❑ 2014 : 294 permanent staff, 75 PhD Students, 35 part-timers, 100 researchers
 - ❑ **12 laboratories** (2 UMR, 1EPC, 3 GIS, 2 ERC) on **7 locations**
 - ❑ Budget 2013 : **21,6M€**

 - ❑ Per/year, **110 peer-review articles**, **6 patents**
 - ❑ **30 expertises** per/year
 - ❑ 2014 : 220 **30 new applied research contracts**
 - ❑ **Creation of 15 full-time positions in industries**, Back-up for 3 **start-up** and 6 **SMEs**
 - ❑ **Member of 3 Technology Research Institutes ...**



Societal Needs



45% GHG, particles, Nox
30% of Energy
10 à 20% du PIB



75% GHG,
Public Health
Combined Risks



Safety & Security of
Transport systems





Social Needs



Increase of Renewable Marine
Energy Plants





To adapt to Climate Change



Opportunities

7/74

GREENCITY

Marne-la-Vallée : Reduced-Scale Sustainable City

Grand Paris Express : « gare à énergie positive »
Descartes Grid

Parc photovoltaïque de 5MW

35 maisons passives et bio sourcées

250 points de charge électrique et auto-partage

CSTB, IFSTTAR, FCBA, EFFICACITY

Val d'Europe : énergie fatale des datacenters, réseaux de chaleur

Villages Nature : aquagalon chauffé grâce à la géothermie profonde

Conflits : BEPOS expérimental

Celetec : datacenter écologique

Hôtel de logistique urbaine

Ecoquartier Le Sycomore : réseau de chaleur avec biomasse locale

8/74

Large Facilities

Véhicules instrumentés : conduite et observation de trajectoires

Paris, Lyon, Nantes

Système d'imagerie à grand rendement

Simulateur trafic ferroviaire (ERTMS)

Banc de vibrations
Chambre climatique

Pont expérimental

Bancs d'expérimentations psychovisuelles

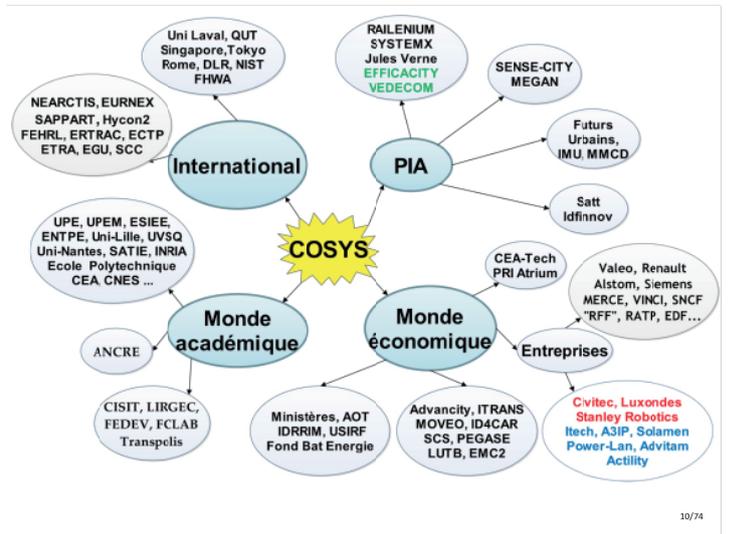
Simulation d'assistance à la conduite (E-MOTIVE)

Code éléments finis dédié au génie civil

ESAR

www.ifsttar.fr

6/9/74



R5G - Forever-open road to improve the competitiveness of Industries through innovation : living-labs ...

Integrated driver/maintenance information system

Measures own Condition

Carbon Capture Planting & Devices

In-built electronic guidance systems

Built-in flood resistance

In-built lane and vehicle direction information

Bolt-on lanes and road Infrastructure

Instant crack repair

Heat storage and energy harvesting

Snow and ice dispersing

Pre-fabricated

Carbon free construction

Recycled materials

FOREVER OPEN ROAD
Redefining Highway Transport for the 21st Century

11/74

R5G : Testing Plants & Demonstrators in all Areas where IFSTTAR is Located

LILLE VILLENEUVE D'ASCQ

NANTES

LYON-BRON

GRENOBLE

SALON DE PROVENCE MARSEILLE

BELFORT

VERSAILLES VITRY

MARNE LA VALLÉE

R5G EVOLUTIVE

R5G ENVIRONNEMENTALE

R5G COOPERATIVE

12/74

Monitoring of Urban metabolism : Anthropic pollution and/or ou linked to Transport, Energy efficiency, resilience...



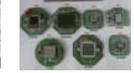
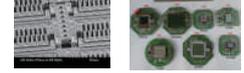
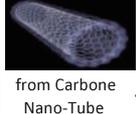
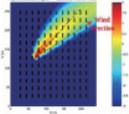
Modelling
- CAD-FEM
- temperature
- Traffic flow
- air quality

Nanosciences
- humidity
- PH
- Porosity

MEMS
- Integration
- Packaging

Sensor Networks

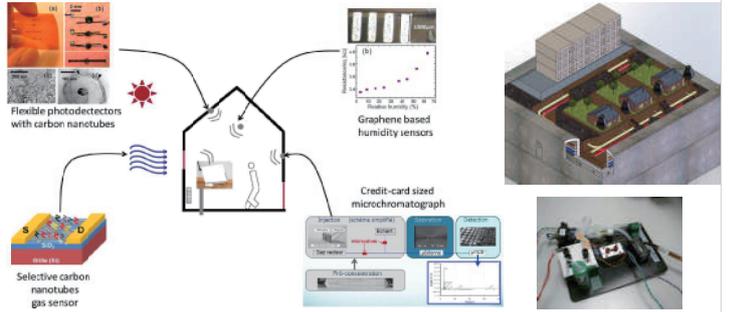
Public Health



from Carbone Nano-Tube → to MEMS → to sensor networks

13/74

Sense-City (IFSTTAR, LPICM, ESIEE-Paris, CSTB,...): Numerical & Sensitive Urban Technologies Systems



Microchromatograph for Air-Quality Control

14/74

15/74

Ballastless railway « Gisors-Cerqueux » R&D Project / MAST - COSYS & Alstom Embedded Optical Fiber Sensors



Research Trends at IFSTTAR: Materials and Structures Department

- Durability of strategic structures and infrastructures
- Support the development of a circular economy in construction fields
- Breakthrough innovation in transport infrastructures (road, rail, bridges and buildings)

Durability improvement of construction materials and development of new / more durable materials (including use of recycled materials) appears as a



Examples of investigations on new durable materials / durability issues

- Conditions of safe use of S-rich aggregate
- Development of a standard performance-test for sulphates-resistant concrete
- Durability of FRP used for structural retrofitting
- Durable concrete mixes made with recycled aggregate
- Shape memory alloys for control of cables vibration
- Bio-sourced materials (durability of hemp concrete)
- Stainless steel for prestressing tendons
- Reinforcement bars made of FRP
- UHPFRC
- etc...



Types of research collaboration

- Bilateral partnership (e.g. IFSTTAR with a structures owner)

EDF-IFSTTAR on alkali-silica reaction and DEF, since 1999

- Multi-partners research convention (e.g. with industrial partners having common interest in innovation)

RECYBETON : large « national project »
For developing the use of recycled aggregate in concrete

- Multi-partner research project answering national calls (FUI, ANR, RGPU...)

BADIFOPS : Eiffage-CSTB-IFSTTAR-Cerema on reinforced UHPFRC applied in seismic resistant structures

- Multi-partner European project

Bio-RePavation : Bio-sourced binder and additives for alternative road pavement material (just launched)



Examples of application: UHPFRC strengthening of bridge decks

- Orthodalle® rejuvenation of an orthotropic steel deck

Eiffage - Following Orthoplus R&D project

- Increased stiffness
- Decrease of fatigue stresses at critical welded joints
- Connection efficiency validated
- Fatigue lifespan extension qualified
- Successful application at Illzach



- UHPFRC strengthening of a concrete deck (Chillon)

Lafarge & Walo - Following Arches European R&D project

- Increased stiffness
- Retrofitted deck capacity
- Connection efficiency validated
- Restrained shrinkage under control
- Optimized production rates
- Concreting and levelling process optimized



IFSTTAR – Materials and Structures Department

IFSTTAR – Materials and Structures Department

(Contact for international partnerships)

14-20 Bld. Newton

Cité Descartes - Champs sur Marne

77447 Marne-la-Vallée Cedex 2

France

Ph +33 (0)1 81 66 83 97

www.ifsttar.fr

francois.toutlemonde@ifsttar.fr

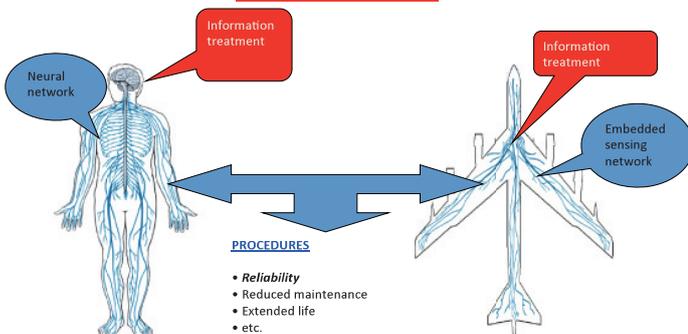


The Consortium DURSI ...

- ❑ Research consortium that develops **smart composite structures** for various industrial applications ... **150 researchers and engineers ...**
- ❑ Partners IFSTTAR, ENSAM-ParisTech, Uni. Bretagne-Sud & Uni. Rennes 1 (IPR)
- ❑ (<http://macsisit.blogspot.fr/>) / **30 000 visits within 6 months...**
- ❑ Support from the Competitiveness Cluster EMC2 ...



SMART MATERIALS ?



Composite's Advantages

- ❑ Better Stiffness/Weight ratio versus metallic materials
- ❑ Corrosion resistant
- ❑ Choice of appropriate combination and volume fraction of Matrices and Fibers regarding the application ...
- ❑ Design on-demand and conception ...
- ❑ Very high potential given *the boost* provided by nanomaterials and nanotechnologies
- ❑ **Massive sensors embedment ... Smart Composites !**
- ❑ **Metallic Matrix Composites ...**
- ❑ **Ceramic Matrix Composites, including Carbon-Carbon for aerospace, aeronautical and nuclear applications ...**

Smart Composite Materials for Extreme Structural Applications

- Structural Civil & Military Applications at Ambient Temperatures (Bridges, Sensitive Buildings, Soldier's Protections), Ease of fabrication, corrosion-resistant, transportability, High Stiffness/Weight ratio ...
 - ✓ Thermoplastic & Thermosetting Matrix Composites / Glass, Carbon ... Fibers
- Structural Applications for Intermediate Temperatures / 500°C - 700°C
 - ✓ Polymer-Matrix Composites (Polyimide Matrix) / Carbon ... Fibers
 - ✓ Metallic-Matrix Composites
- High Temperature Structural Applications / 900°C - 2000°C (Nuclear Applications, Anti-Blast, Bomb-confinement ...)
 - Ceramic-Matrix Composites & Graphite Composites

Appropriate Embedded and/or Bonded Structural Health Monitoring !
 Optical-Fiber Sensors, Ultrasonic Sensors, Thermography, Shape Memory Alloys, Phase-Transforming Materials, Nanomaterials & Nanotechnologies ...
BIG CHALLENGE !



Airplane, High Speed Trains, Automobile, Offshore Wind Generator ...

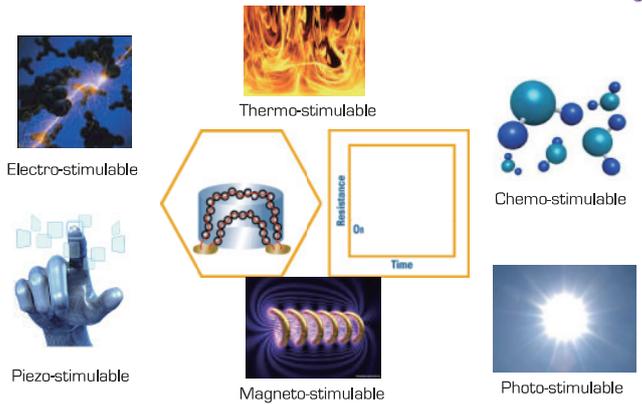


Vision ...

- Smart Infrastructures (Bridges, *Smart Rebars for concrete roads, Smart buildings ...*), High-Speed Train, Smart Structures, Smart Offshore Wind-Generators, Security of infrastructures ...)
- Durability is the Goal (Thermomechanical Durability of Structures, Physical & Thermomechanical Durability of Embedded/Bonded Sensors ...), Systemic Approach, Multi-scale Analytical & Numerical Approaches ...
- Macro, Micro & Nano-Based Sensors (Optical Fibers Sensors, Ultrasonic Sensors, Electromagnetic Sensors, Conductive Sensors, MEMs & NEMs, Nanosensors ...)



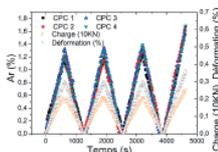
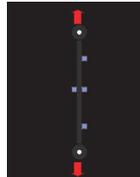
Smart Plastics from stimutable nanocomposites !



J. F. Feller, M. Castro, B. Kumar, Chap. 24 in Polymer Carbon Nanotube Composites: Synthesis, Properties & Applications, Woodhead Publishing, Cambridge (2010).

28

Strain sensing skins for health monitoring of composites



SMART COMPOSITES DECK PROJECT DECID2



Double Structural Health Monitoring Smart Composite Deck Using Low Diameter Optical Fiber and Micrometric Ultrasonic Sensors
 FUI-Contract - Ministry of Industry (FRANCE)



- Smart composite structure (L = 20m x l = 7m)
- 3 years project starting from Sept 08
- Total Budget : 4.1 M€
- 2.5 M€ (Department of Industry & Local governments)
- Partners (Industries & Universities)
- Composite structure made of glass composites (Pultrusion)
- Glass composites with embedded optical sensors
- Double SHM : Embedded optical fibers (FBG) & patch-based ultrasonic sensors



29

C. Robert, J.F. Feller, M. Castro Sensing skin for strain monitoring made of PC-CNT conductive polymer nanocomposite sprayed layer by layer, ACS Applied Materials & Interfaces, 2012, 4, 7, 3508-3516

**National Project DECID2
Budget 4M€ (2008 – 2012)**

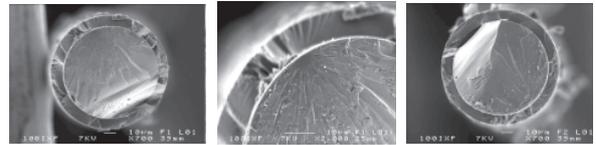


Figure . Smart Composite Platforms - DECID2 Project at IRT Jules Verne and Ifsttar Locations

DIAMETER OPTICAL FIBER (DECID2)

Diameter of silica = 80mm – High performance polymer coating = 10 mm

Static Tension : 2.5N – Time under loading : 7 days

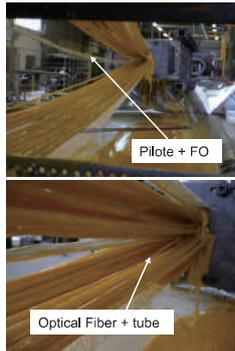


Micrographies, 7J, 2.5N Micrographies, 7J, 2.5N Micrographies, 7J, 2.5N

Good adhesion between silica and polymer – No decohesion at the interface even for high loading speed tests (Micrographies Sangleboeuf et al., 2010)

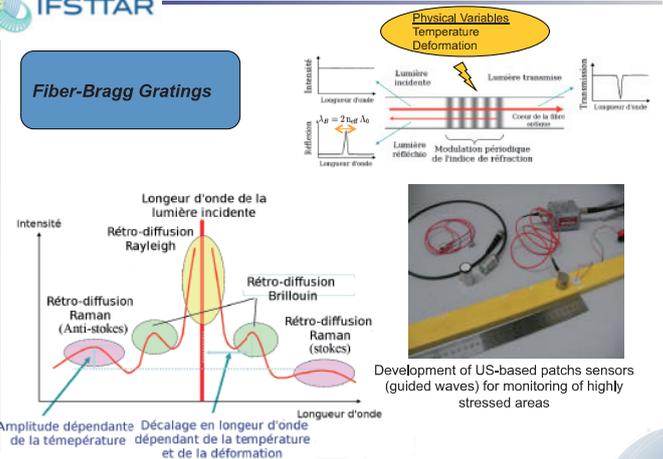
**PULTRUSION OF OPTICAL FIBER
DURING PROCESSING (DECID2 Consortium)**

Test 1 : FO + tube

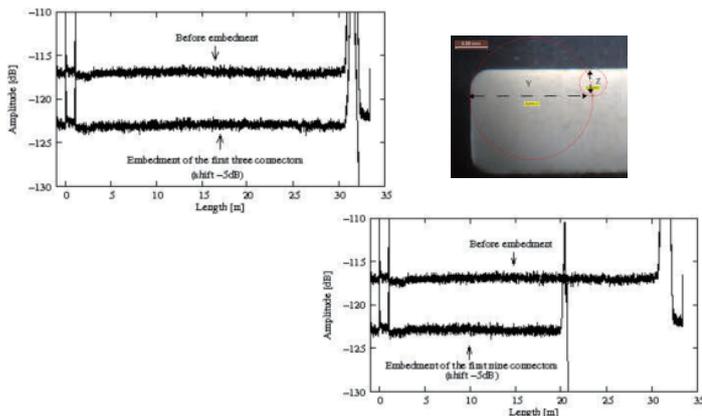


Fiber-Optics Sensors

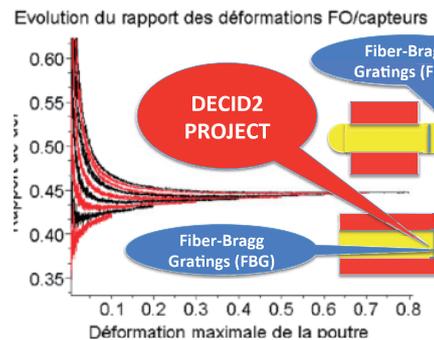
Fiber-Bragg Gratings



**Optical Fiber Pultrusion
Optical Backscattering Reflectometer signals**



Comparison FO-Mechanical LVDT Signals



Fatigue Tests

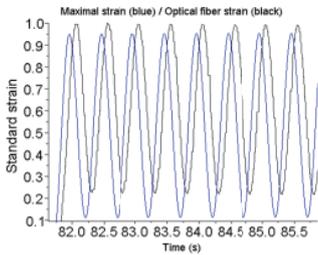


Figure : Comparison of strain values delivered by FBG and the mechanical testing machine

- The strain measured using FBG is smaller than the one displayed by the mechanical testing machine
- Result of the difference between the strain measured by the mechanical testing machine at the extreme of the area under tension and the position of the optical fiber inserted into the heart of the area under tension, but closer to the neutral axis.

Mid-Internship Report: Numerical Simulation of the Mechanical behavior of a Unidirectional E-glass Composite Platform DECID2

Immanuel David Madukauwa-David
Supervisor: Pr. Monsef Drissi-Habti

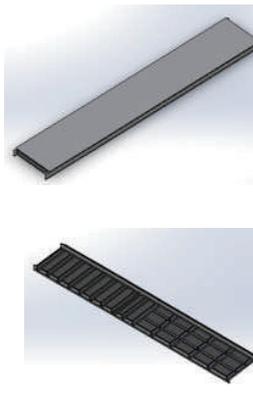
MIT-France Internship carried out at IFSTTAR Nantes, France
October 2014 - present

Introduction & Background

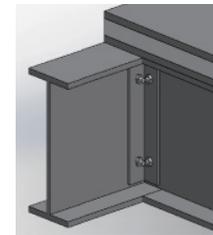
- **Previously:** Composite platform built and experiments carried out on it.
- **Current** project aims:
 - Predict mechanical behavior of platform under static loading
 - Predict failure modes around fasteners
 - Predict and analyze damage around embedded optical sensors
 - Predict and analyze matrix failure in micro-scale



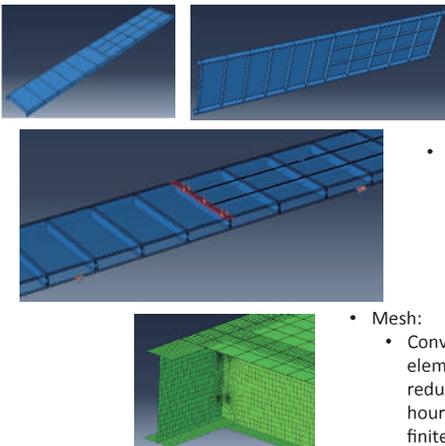
First Iteration (SolidWorks & Abaqus)



- 3D **solid** model—Exact replica of platform
- Required excessive processing power/time
- Inefficient for debugging



Model And Simulation (Abaqus Only)

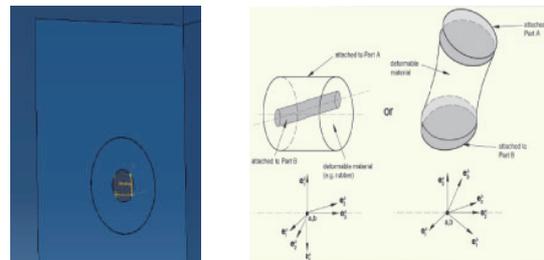


- 3D conventional **shell** m

- Three-point bending simulation in 3D
 - Load applied along 30cm strip midway between supports
 - Supports modeled as 15 x15 cm encastré surfaces

- Mesh:
 - Conventional shell 4-node elements, S4R with reduced integration, hourglass control, and finite membrane strains.

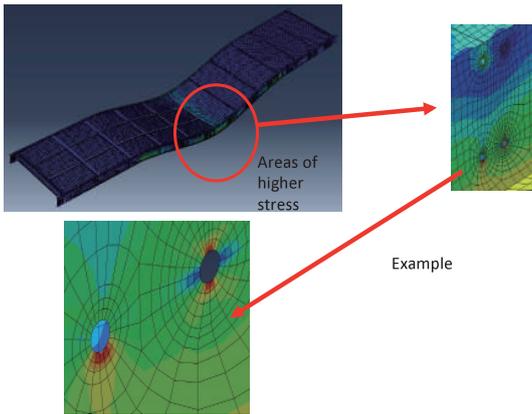
Model and Simulation



Material	Density [Tonne/mm ³]	E1 [N/mm ²]	E2 [N/mm ²]	E3 [N/mm ²]	Nu1 2	Nu1 3	Nu1 3	G12 [N/mm ²]	G13 [N/mm ²]	G23 [N/mm ²]
E-glass Composite	2.6E-11	20300	4480	20300	0.05	0.15	0.15	2500	2500	8500
Honeycomb	6.5E-11	85	85	85	0.42	0.42	0.42	30	30	30

- **Bolt-nut fasteners** modeled as connector elements of bushing type CONN3D2 with all modes of deformation unconstrained (see diagram)

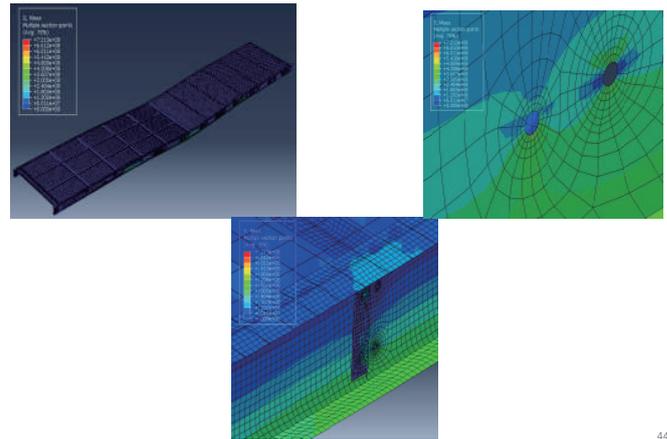
Results



43

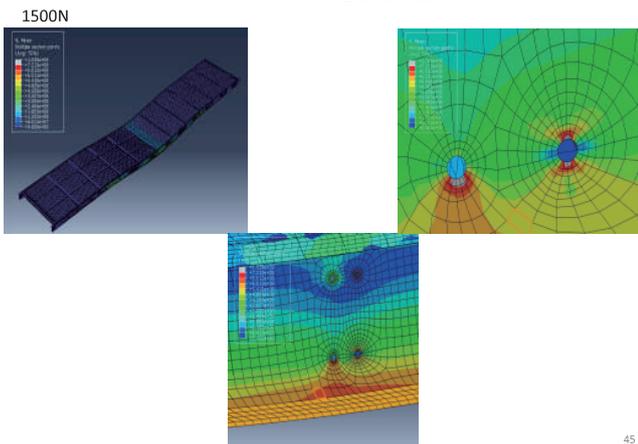
500N

Results



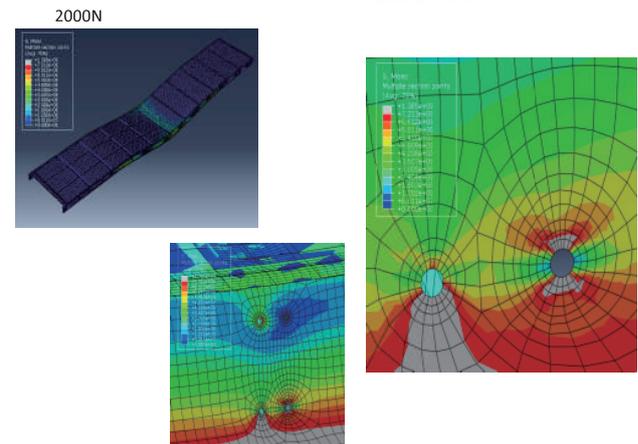
44

Results

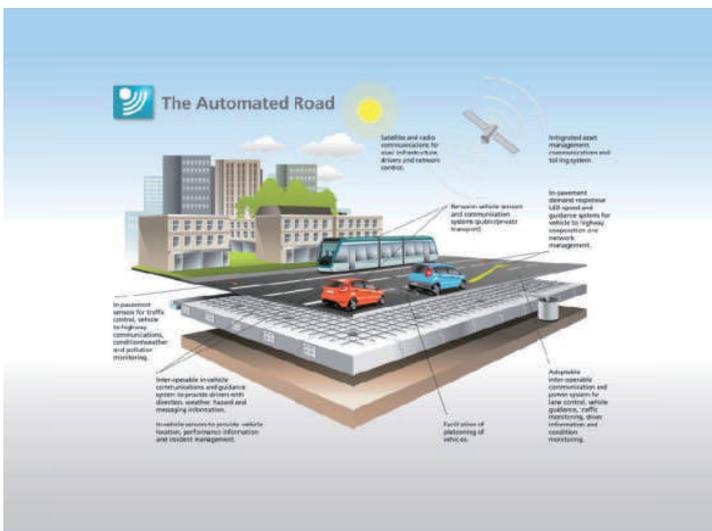


45

Results

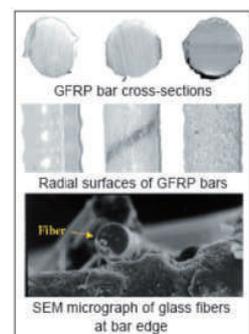


46



Smart Composite Rebars, GIS DURSI (Canada)

Fiber-Reinforced Polymer (FRP) composites are typically made of fibers such as, glass, aramid, and carbon in a polyester or vinyl ester resin matrix (corrosion-resistant materials, lightweight ...)



Questions ...

1. Any reinforcement out of adding carbon nanotubes to polymer matrices ... ?

2. The piezo-resistive properties of carbon nanotubes used to set-up new sensors ?

CNTs – Reinforcement Mechanisms

- Crack deviation
- Pull-out (Sliding/Friction)
- Crack-Bridging

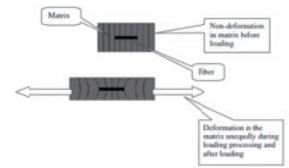


Fig. 7. Deformation of short fibers in the composite.

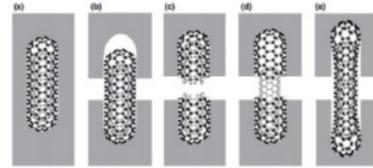
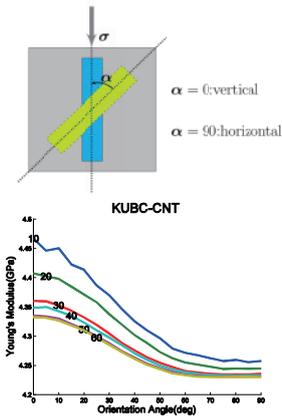


Fig. 9. Schematic description of possible fracture mechanisms of CNTs. (a) Initial state of the CNT. (b) pull-out caused by CNT/matrix debonding in case of weak interfacial adhesion; (c) repair of CNT - strong interfacial adhesion in combination with extensive and fast local deformation; (d) helicospiral pull-out - fracture of the outer layer due to strong interfacial bonding and pull-out of the inner tube; (e) bridging and partial debonding of the interface - local bonding to the matrix enables crack bridging and interfacial failure in the non-bonded regions.

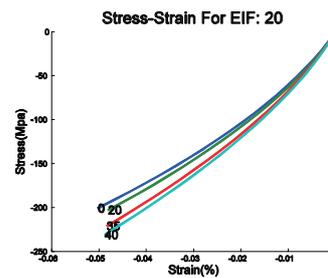
50

CNT-reinforcement of thermosetting matrix



- The homogenization method with the Effective Interface Model was used to calculate the elastic Young's Modulus of the Nano-Reinforced composite.
- The elastic Young's Modulus of the composite decreases with the increase of the orientation angle.
- Imposing viscoelastic behavior for the thermosetting polymer as well as a visco-elastic interface, the stress-strain curve was properly simulated.

CNT-reinforcement of thermosetting matrix (Towards *ab-initio* modelling)



- Interface is assumed to behave viscoelastic as the polymer that is considered
- The CNT behaves elastic
- Maxwell model is used to evaluate the viscoelastic behavior ...

Nano-Reinforcement ... Creep Under Microindentation

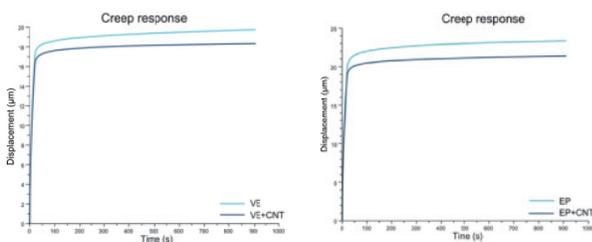


Figure. Indentation creep response curves of monolithic and nano-reinforced (0.3 wt%) a) vinyl ester and b) epoxy resins

Nano-Reinforcement ... Creep Under Microindentation

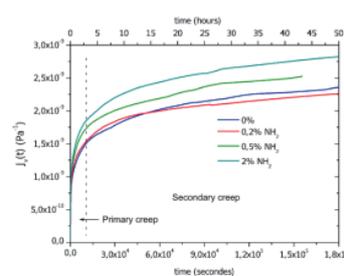


Fig. 50h shear creep compliance of neat and nano-reinforced epoxy. The primary creep stage is clearly highlighted for CNTs-reinforced (NH₂-functionalized) resins .

$$h^n(t) = \frac{1-\nu}{\mu} \times F \times P_s(t)$$

$$h^n(t) = \frac{1-\nu}{F} \times \int_0^t J(t-s) \frac{\partial P(s)}{\partial s} ds$$

$$P(t) = P_0 H(t)$$

$$h^n(t) = \frac{1-\nu}{F} P_0 \times \int_0^t J(t-s) ds$$

$$J(t) = \frac{F}{1-\nu} P_0 h^n(t)$$

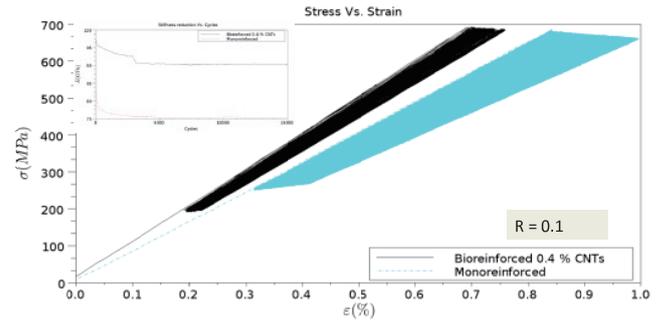
$$J(t) = J_e + J_v(t)$$

From Micro to Nano

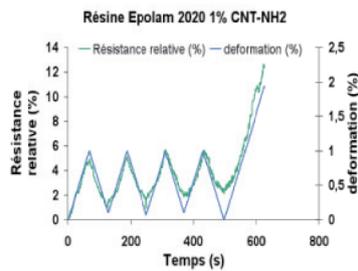
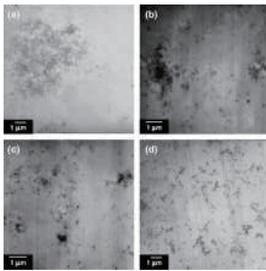
- Bi-Reinforcement :
 - Continuous Carbon Fibers
 - Carbon Nanotubes (Low weight fraction ...)
 - Epoxy Matrix

- Embedded Nanocomposite Sensors ...

Low cycle fatigue test in 3-point bending at 5% above the proportional limit (650 MPa)



Embedded Polymer Nanocomposite Sensors (GIS DURSI - Pr. JF Feller, Uni. Of South Brittany)



- Incorporation de charge dans une matrice thermodurcissable
- Importance de la dispersion / distribution

➢ La réponse électrique suit bien la déformation mécanique à la fois lors des cycles de faible amplitude et jusqu'à la rupture

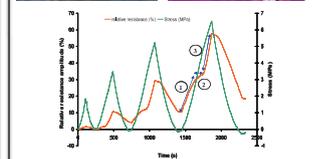
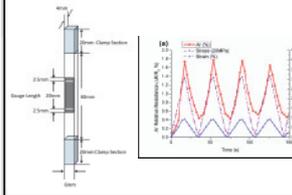
C. Robert, J. F. Feller, M. Castro, *Utilisation de senseurs nanoComposites Polymères Conducteurs (CPC) pour le monitoring de la déformation des matériaux composites*, 31^{ème} Colloque de la Section Ouest du Groupe Français d'applications des Polymères (G.F.P.), 17-18 juin 2010, Le Mans, France

CPC for strain sensing & health monitoring (GIS DURSI)

It is also possible to envisage the anticipation of structural composite fracture and make health monitoring with CPC



CPC sensors can monitor the sail deformation and monitor its load to optimize its design



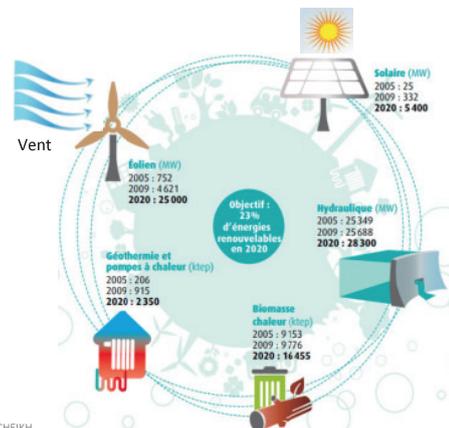
Z. S. Levin, C. Robert, J. F. Feller, M. Castro, J. C. Brunlin, *Smart Materials & Structures*, 22 (2013) 1-9.

C. Robert, J. F. Feller, M. Castro, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4, 2014, 9206-9216.

EVEREST PROJECT ... GIS DURSI, Alstom, Europe Technologies & IRT Jules Verne Wind Turbine Blade / Bi-Reinforced Smart Composites Budget : 1.5M€ (2014 - 2017)



Introduction

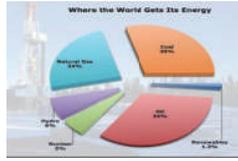


Fouad ECH CHEIKH

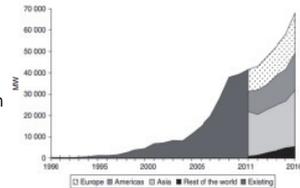
03 décembre 2014

Wind energy production – world wide

- Less than 6% of energy is produced by wind power before some years.



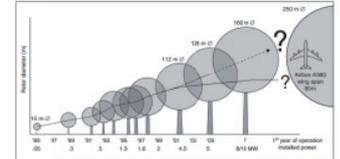
- China, Europe and America have an importance in wind energy production compare to rest of the world.



7 Development of installed wind power in the wo forecast 2012-2016. IFSTTAR

Wind energy production - Europe

- Europe really focus on the big wind turbines to reduce the cost of energy.
- Cost of energy is a function of cost of installation and cost of maintenance. That increases similarly the power production by introducing new technology in rotor adjustment.(so long blades)

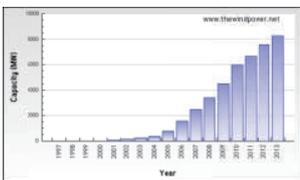


E.G
SeaTitan 10MW Wind Turbine – USA
Areva 8MW wind turbine – France
Vestas V164-8.0 MW - Denmark
Enercon E-126/7.5 MW - Germany

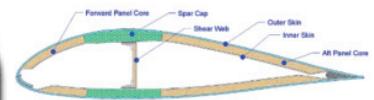


Wind energy production - France

- France may be the world's most nuclear energy dependent country.
- But the nuclear energy production decreases from 75 % to 50 % by developing the wind renewable energy production.
- Wind energy in France focus on Northern pole and western costal areas. (ours western offshore)
- Current level 8.2 GW, and 2020 aim 19 GW, according to the European Wind Energy Association.



WIND TURBINE BLADE'S MATERIAL DEVELOPMENT- NUMERICAL SIMULATION

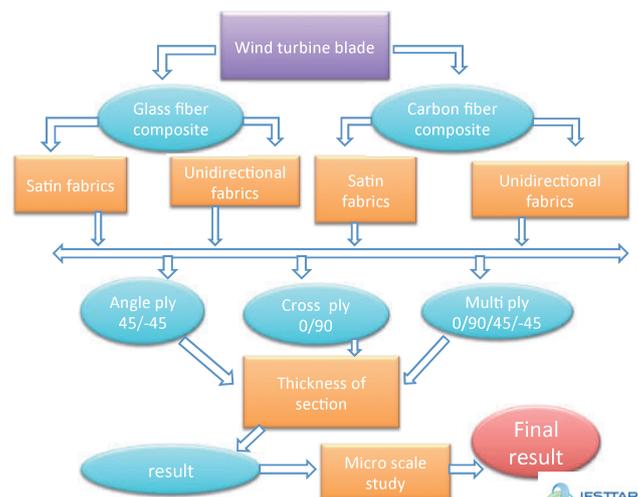
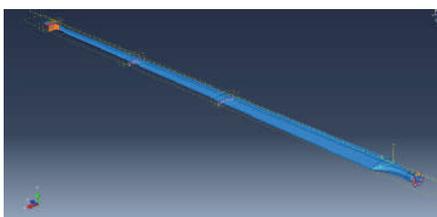


Venkadesh Raman, Monsef drissi habti
Ifsttar, France

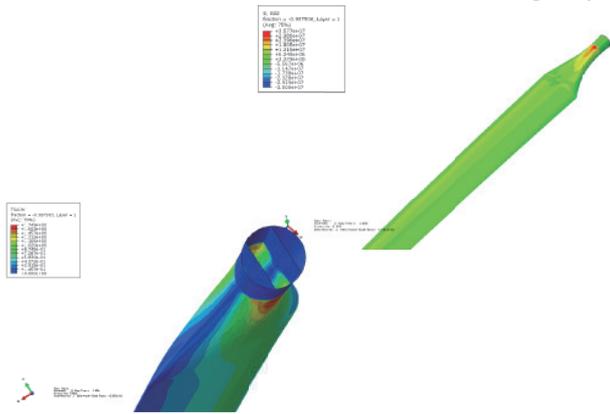


Boundary condition applied

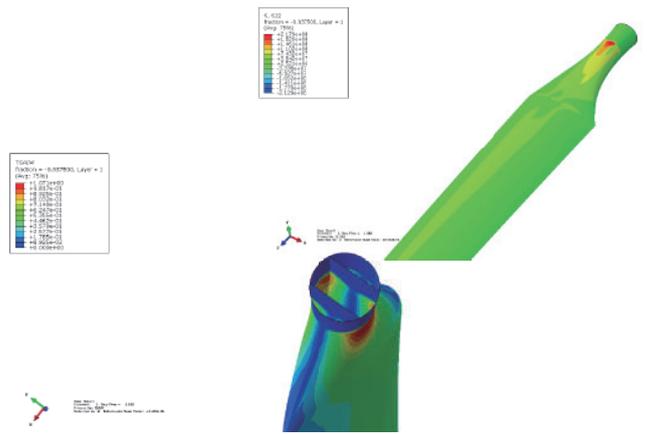
- Load is fixed at the root section.
- Bending load is applied.
- Bending load applied in 3 points.
- Aim is to approach this experimental condition.



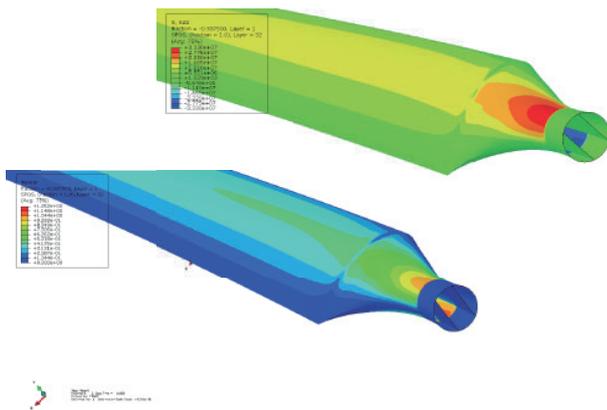
Carbon fiber - Unidirectional- Angle ply



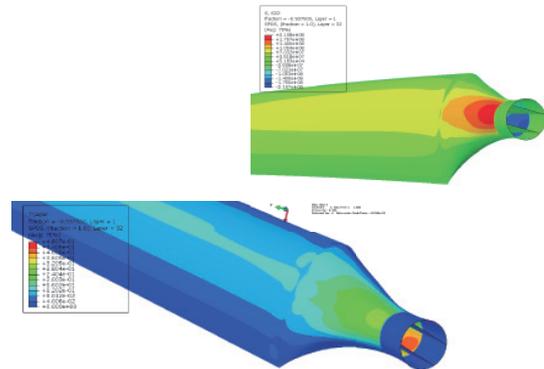
Carbon fiber - Satin fabrics – Angle ply



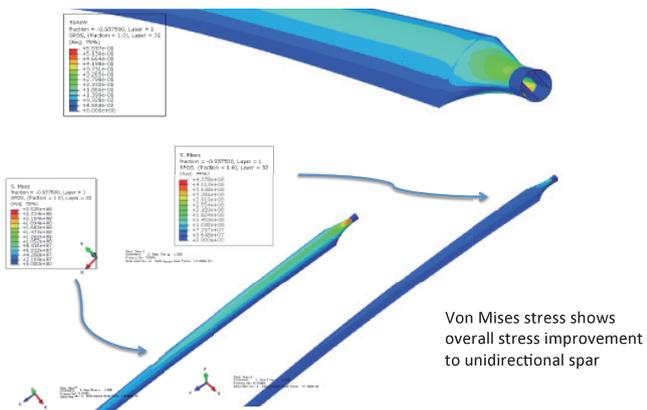
Carbon fiber - unidirectional- Cross ply



Carbon fiber – satin fabrics - Cross ply

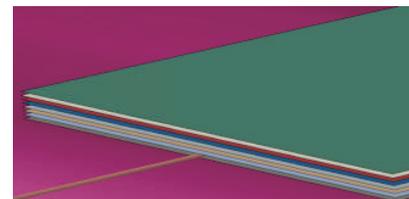


Glass satin fabrics skin and unidirectional tape spar



Numerical study for specimens

- The objective is to compare the experimental result with numerical study.
- The specimen contains several plies
- The fiber optics are included in the numerical simulation between the plies.
- The fiber optic's position influence the strain sensing characteristics.
- 3 point bending load is applied.



Composite Material Experimental Study



Structural Health Monitoring of Mechanically-Loaded High-Voltage Cables for Offshore Applications

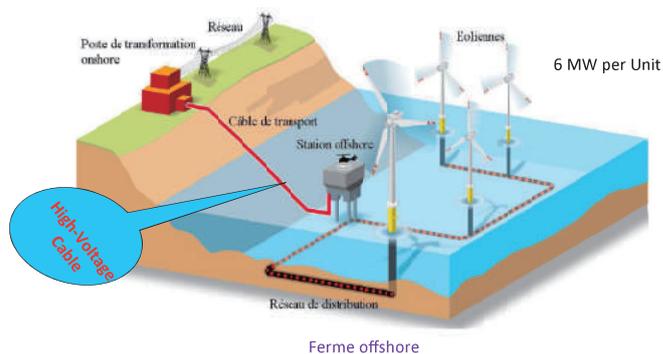
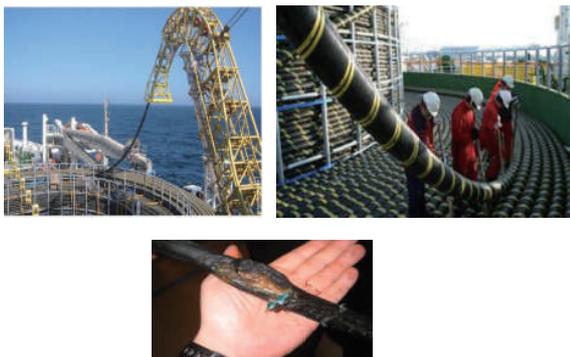
IFSTTAR (www.ifsttar.fr) & CEA (www.cea.fr) Joint Project

F. ECH CHEIKH, M. DRISSI-HABTI
PRES LUNAM IFSTTAR, CS4 Route de Bouaye 44344 Bouguenais

Fouad ECH CHEIKH

03 décembre 2014

High-Voltage Cables

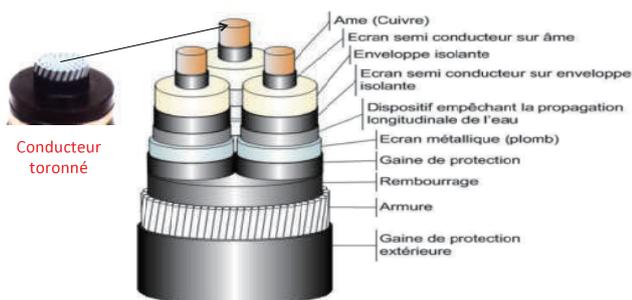


Fouad ECH CHEIKH

03 décembre 2014

Câble sous-marin THT: Les composants et leur rôle

Les composants du câble sous marin THT



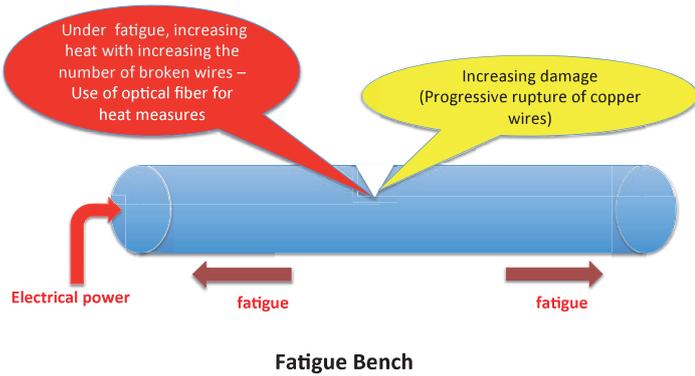
Fouad ECH CHEIKH

03 décembre 2014

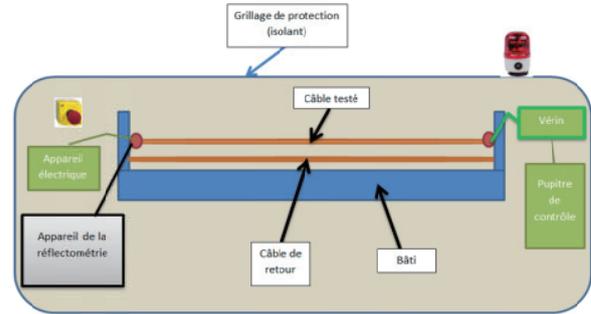
Scope of the Project

- To check the defects of High-Voltage Cables prior to installation in deep sea ... Create progressive damage and check electrical – mechanical properties of cables
- To every damage stage corresponds a localized heat value ...
- In case of high localized heat value, stop installation ...

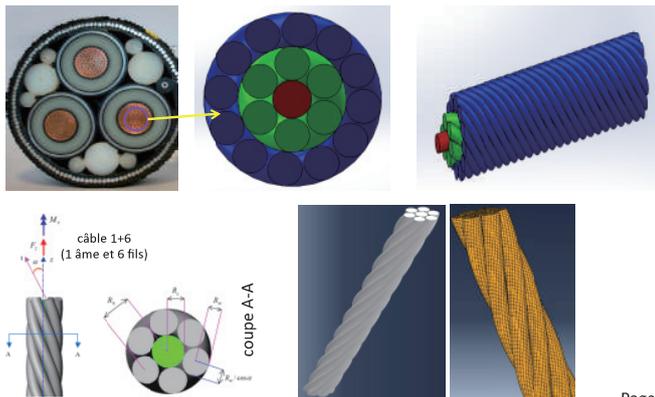
Experimental Aspects ...



Fatigue Bench

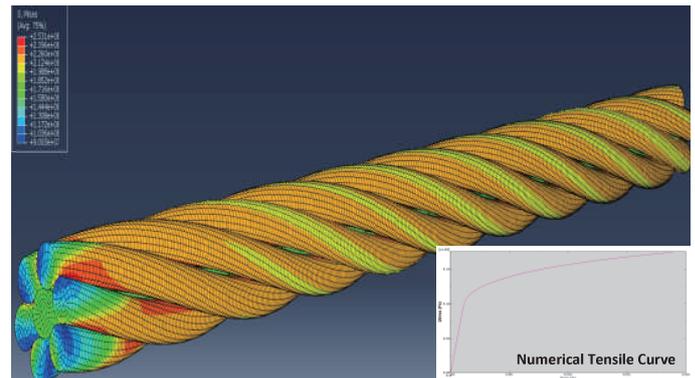


Numerical Modeling



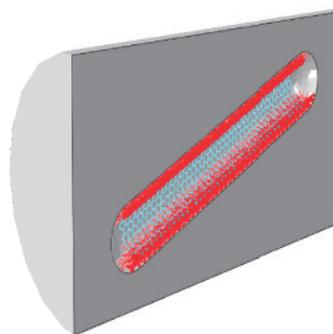
Page 81

Results



Multi-scale modelling of carbon nanotube/polymer nanocomposites

Ehsan Hajiesmaili, Monssef Drissi-Habti
Department COSYS, IFSTTAR, Nantes,
France



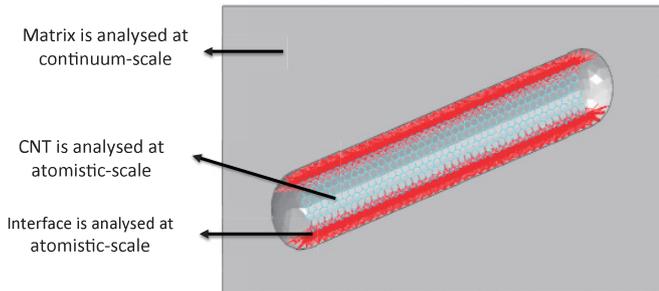
Introduction

A code is developed to simulate mechanical behaviour of CNT reinforced composites under tension, compression and torsion.

Features

This code enables investigation of effect of each of the following parameters on the mechanical behaviour of the composite undergoing large deformations:

- CNT orientation
- Fiber volume ratio
- Length and diameter of the CNT
- Chirality of the CNT



- Introduction
- **Atomistic model for the CNT**
- Continuum model for the matrix
- Multi-scale model for the RVE
- Simulation sample

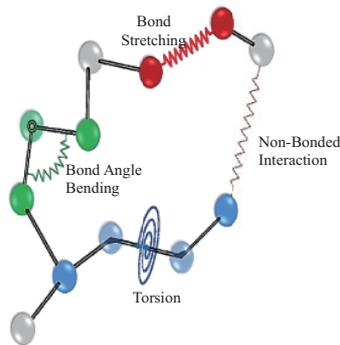
Bond modelling

DREIDING force field:

Bond stretching potential
 $E_{\Delta r} = D_{\Delta r} [e^{-\beta(r_{\Delta ij} - r_{\Delta e})} - 1]^2$

Bond angle bending potential
 $E_{\Delta \theta} = 1/2 C_{\Delta ijk} (\cos \theta_{\Delta ijk} - \cos \theta_{\Delta ijk}^0)^2$

Bond torsion
 $E_{\Delta \phi} = 1/2 V_{\Delta ijkl} [1 - \cos(n_{\Delta jk} (\phi_{\Delta ijkl} - \phi_{\Delta ijkl}^0))]^2$



Mathematical formulation for CNT

Find atom displacement field, \mathbf{U} , such that total potential energy, E , is minimized where
 $E(\mathbf{U}) = \sum \text{Stretching bonds } E_{\Delta r}(\mathbf{U}) + \sum \text{Bending bonds } E_{\Delta \theta}(\mathbf{U}) + \sum \text{Torsion bonds } E_{\Delta \phi}(\mathbf{U}) + W_{\text{external}}(\mathbf{U})$

Nonlinear finite element formulation

In other words

$$\mathbf{U} = \arg \min \{E(\mathbf{U})\}$$

$$\Rightarrow \mathbf{F}(\mathbf{U}) = \partial E / \partial \mathbf{U} = \mathbf{0}$$

Newton-Raphson's method is used to solve the nonlinear system of equations:

$$\mathbf{0} = \mathbf{F}(\mathbf{U}^{k+1}) \approx \mathbf{F}(\mathbf{U}^k) + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{U}}(\mathbf{U}^k) \Delta \mathbf{U} - \mathbf{K} \Delta \mathbf{U}$$

Positive definiteness of the stiffness matrix is checked to insure that the optimum point is a minimum.

Development of a nonlinear FE code

A MATLAB function is developed to

- specify the initial nodal positions,
- specify element connectivity, and
- generate an ABAQUS input file.

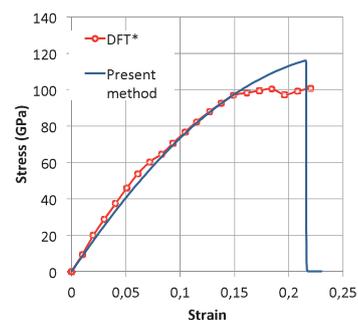
An ABAQUS user-element is developed to

- formulate element stiffness matrices.

ABAQUS CAE is employed to

- assemble element stiffness matrices,
- solve the linear system of equations at each increment, and
- view the results.

Verification of the FE code



*H. Mori, Y. Hirai, S. Ogata, S. Akita, Y. Nakayama, Japanese Journal of Applied Physics 44(2005) L1307-L1309

- Introduction
- Atomistic model for the CNT
- **Continuum model for the matrix**
- Multi-scale model for the RVE
- Simulation sample

Mathematical formulation

Find displacement field, \mathbf{U} , such that total potential energy, E , is minimized where

$$E(\mathbf{U}) = \int_{\Omega} \frac{1}{2} (\boldsymbol{\sigma} : \boldsymbol{\epsilon}) d\Omega + W_{\text{external}}$$

A linear elastic model is considered for the matrix

$$\boldsymbol{\sigma} = 2\mu\boldsymbol{\epsilon} + \lambda \text{tr}(\boldsymbol{\epsilon})\mathbf{I}$$

Nonlinear finite element formulation

The continuous displacement field is approximated by finite dimension displacement vector \mathbf{U}

$$\mathbf{U} = \arg \min \{E(\mathbf{U})\}$$

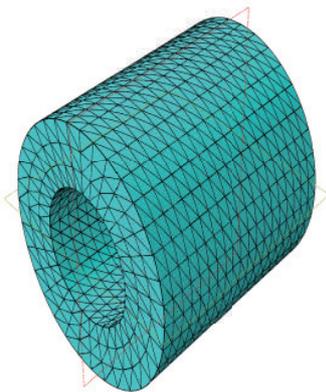
$$\Rightarrow \mathbf{F}(\mathbf{U}) = \partial E / \partial \mathbf{U} = 0$$

Newton-Raphson's method is used to solve the nonlinear system of equations:

$$0 = \mathbf{F}(\mathbf{U}^{k+1}) \cong \mathbf{F}(\mathbf{U}^k) + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{U}}(\mathbf{U}^k) \Delta \mathbf{U} + \mathbf{K} \Delta \mathbf{U}$$

Positive definiteness of the stiffness matrix is checked to insure that the optimum point is a minimum.

- Mesh size determines density of interface bonds, here we considered a mesh size of 0.518 nm
- A near-to-equilibrium configuration is considered for the matrices
- A relaxation step is performed to obtain the relaxed configuration of matrix
- At each increment of the relaxation step the stress in matrix is released



- Introduction
- Atomistic model for the CNT
- Continuum model for the matrix
- **Multi-scale model for the RVE**
- Simulation sample

Mathematical formulation

Lennard-Jones potential is used for non-bonded interaction between CCNT atoms and matrix nodes

$$E(\mathbf{U}) = \sum_{\text{bonds}} 4\epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$

Cut-off distance of 2.5σ is considered, i.e. CCNT atoms are connected to matrix nodes if their distance is less or equal to 2.5σ .

Development of a nonlinear FE code for interface

A MATLAB function is developed to

- specify element connectivity, and
- generate an ABAQUS input file.

An ABAQUS user-element is developed to

- formulate element stiffness matrices.

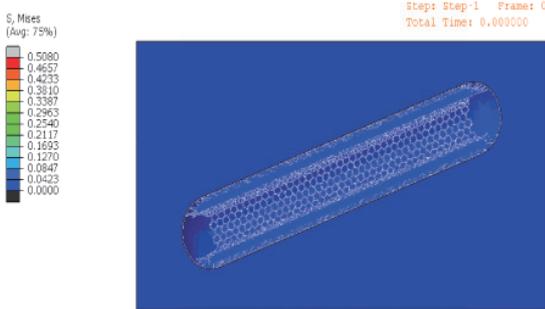
ABAQUS CAE is employed to

- assemble element stiffness matrices,
- solve the linear system of equations at each increment, and
- view the results.

Mathematical formulation

Find discretized displacement, $\mathbf{U} = \{ \mathbf{U}^{\text{Matrix}}, \mathbf{U}^{\text{CNT}} \}$, such that total potential energy, E , is minimized where
 $E(\mathbf{U}) = E^{\text{CNT}} + E^{\text{Matrix}} + E^{\text{Interface}} + W^{\text{External}}$
 Therefore
 $\mathbf{U} = \arg \min \{ E(\mathbf{U}) \}$
 $\Rightarrow \mathbf{F}(\mathbf{U}) = \partial E / \partial \mathbf{U} = 0$
 Newton-Raphson's method is used to solve the nonlinear system of equations:
 $0 = \mathbf{F}(\mathbf{U}^{k+1}) \approx \mathbf{F}(\mathbf{U}^k) + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{U}}(\mathbf{U}^k) \Delta \mathbf{U}$
 Positive definiteness of the stiffness matrix is checked to insure that the optimum point is a minimum.

- Introduction
- Atomistic model for the CNT
- Continuum model for the matrix
- Multi-scale model for the RVE
- Simulation sample



Step 1: relaxation step
 Step 2: loading step

ANR (French National Research Agency) <http://www.anr.fr>

- Enhancing the visibility of French research
- ANR plays an active role in European and international research policy and makes French research more visible by taking an active part in a variety of European and worldwide forums and governing bodies.
- At the global level, ANR is a member of:
- The **Global Research Council (GRC)**: a virtual organisation comprising the heads of science and engineering funding agencies from around the world,
- The **G8-HORCs** (G8 Heads of research councils), which brings together the leaders of the research organisations of the G8 countries and which notably led a pilot action to fund international projects
- The **European Science Foundation (ESF)**
- Finally, ANR is largely involved in the European networks such as ERA-NETs and Joint Programming Initiatives (JPIs).

ANR (French National Research Agency) <http://www.anr.fr>

- Building the European Research Area and France's international attractiveness
- ANR provides French research teams with funding instruments designed to help increase the excellence, the impact and the outreach of French research. It also aims at promoting collaborative research in Europe and the world, thereby stimulating the emergence of high-level research partnerships. Its actions are complementary to the instruments of the European Commission's funding programme – Horizon 2020.
- To meet these objectives, ANR proposes four types of international instruments:
 1. To simplify and strengthen the bilateral partnerships of researchers: the **collaborative research projects – International (PRCI) can be mobilised under ANR's annual generic call for proposals**
 2. To simplify and strengthen the bilateral partnerships of researchers on targeted themes or disciplines: **ANR launches specific European and international calls for proposals**
 3. To facilitate the hosting of world-renowned researchers: **a specific annual call is put out under a dedicated funding instrument named "Hosting High-Level Researchers"**
 4. To enhance the influence of French research on the European and international scene: the **MRSEI" (Setting up European or International Scientific Networks)" instrument also forms the subject of a specific call**

ANR (French National Research Agency) <http://www.anr.fr>

- **ANR's international funding instruments**
- **Type of project Instrument Generic or specific call ?**
 - Collaborative bilateral projects including one or more teams from a particular country Collaborative research projects - International, PRCI - Generic call for proposals
 - Collaborative bilateral projects including one or more teams from a particular country - Specific calls for bilateral project proposals Specific call for proposals
 - Collaborative multilateral projects including one or more teams from several particular countries - Specific calls for multilateral project proposals - Specific call for proposals
 - Scientific networks including one or more European or international teams Setting up European or International Scientific Networks (MRSEI) - Specific call for proposals
 - Individual project of a researcher of any nationality who wishes to come and work in a French research organisation Hosting High-Level Researchers Specific call for proposals

ANR (French National Research Agency) <http://www.anr.fr>

- Economic impact of research and competitiveness
- This component of the Work Programme aims to facilitate partnerships with private companies and promote the transfer of public-funded research to industrial applications.
- To this end, the French National Research Agency supports public-private partnerships that have a direct impact on the economy and competitiveness, via the collaborative research projects involving enterprises (PRCE) instrument, which falls within the scope of the generic call for proposals. In addition to this instrument, this component is also based on the following specific programmes:
 - ❑ **LabCom** : For the purpose of establishing joint research laboratories between public research institutions and SMEs
 - ❑ **Industrial chairs** : For the purpose of establishing chairs at public research facilities, in partnership with enterprises, and financed jointly by the latter and the ANR
 - ❑ **Carnot Institutes** : For the purpose of promoting the development of contractual research between public research institutions and private companies

ANR – PCRI Calls

- Bilateral collaborations under the generic call for proposals: the PRCIs
 - The generic call 2015 enables researchers to submit bilateral projects with certain countries. These international projects are in direct competition with national projects. To this end, ANR has created the "PCRI" instrument, a French acronym for Collaborative Research Projects – International.
 - ANR has created partnerships with various foreign counterparts to facilitate international collaborations between researchers:
 - For some collaborations, a project can be submitted on all the themes proposed in the generic call;
 - For others, the thematic field is limited. For those partnerships targeting specific themes, ANR and its counterparts aim to continue the theme over two or three years to encourage the emergence of high-quality projects.
 - Whatever the case, strong synergies are expected and should be materialised by a balanced involvement of the French and foreign partners and by the designation of a scientific coordinator in each of the countries.

ANR – PCRI Calls Conditions of applications

Case n°1: Simultaneous submission and evaluation by each agency

For certain partnerships, the French and foreign coordinators must submit their proposal to their respective funding agency simultaneously, complying with the conditions of each one. The funding agencies manage the evaluation of the proposals in accordance with their own specific procedures and then coordinate their decisions.

Case n°2: "Lead agency" procedure

The "lead agency" procedure is one of the most sophisticated forms of bilateral partnership between agencies (facilitate the procedure). It also simplifies the selection process, which is carried out by a single agency using its own specific methods.

- ❑ For 2015, ANR is ensuring the reception and evaluation of the projects on behalf of the agencies for Germany (DFG), Switzerland (FNS), Austria (FWF) Luxembourg (FNR) and Brazil (FAPESP, State of Sao Paulo),
- ❑ It is also possible, outside these bilateral agreements, to submit projects in collaboration with one or more foreign teams from any country. In this case, the foreign teams must ensure their own funding (from their own funds or their own country's funding instruments). The applicant must submit the project using the "PRC" or "PRCE" instrument of the generic call, not the "PCRI" instrument.

PCRI Programs (Examples)

- **Bilateral collaborations under the generic call for proposals - the PRCIs at a glance**
- **Country Eligible collaboration themes**
- Germany : All the societal challenges and the all-knowledge challenge of the generic call
- Brazil – State of Sao Paulo : Neurosciences, cardiovascular diseases and metabolism
- Marine research, Social sciences and humanities
- China Water security and watershed management, Water cycling in watershed and its response to global change, Impacts of human activities on water security in watershed, remediation and water management
- Romania : ELI (Extreme Light Infrastructure), Research Infrastructure (DANUBIUS)
- Singapore : Materials, nanotechnologies, nanosystems
- Turkey : Marine Geosciences, Seismic risks, Sustainable development of Marine ecosystem,
- Social science and Humanities, Energy
- Taiwan : All the societal challenges and the all-knowledge challenge of the generic call, except for societal challenge 9 "Freedom and security of Europe, of its citizens and of its residents »

ANR – International Cooperations

- ❑ **Apart from the bilateral collaborations proposed within the framework of the generic call, ANR - jointly with its foreign counterparts - organises calls for proposals on targeted themes or covering particular disciplines. These can be bilateral calls or calls launched as part of European or global multilateral initiatives.**
- ❑ In relation with the major societal challenges of its Work Programme, ANR is developing multilateral partnerships with its European counterparts in the framework of the joint European actions such as ERA-NETs, ERA-NETs Cofund or Joint Programming Initiatives (JPI). These actions are materialised in particular by the fact that the network partners regularly launch international calls for proposals on targeted themes in which each country funds its own national researchers.
- ❑ These actions are complementary to those carried out in the context of the European Commission's research funding programme, Horizon 2020.
- ❑ Moreover, ANR establishes partnerships with funding agencies from the major research countries on specific themes or themes corresponding to major societal issues of global reach: bilaterally (NSF in the United States, JST in Japan, DFG in Germany, etc.)

In practice : These initiatives generate specific calls for proposals. For each specific call, a call for proposals text common to the participating agencies and detailing the eligible themes, the file submission conditions and the evaluation and selection methods, is published on the ANR website.

Projects - Examples

- Germany (DFG), Japan (JST)
[Multilateral call SPPEXA Software for exascale computing 01-Oct-2014 31-Jan-15](#)
- Japan (JST) [Bilateral call ANR-JST Molecular Technology 30-Jan-15 11-May-15](#)

ANR – Hosting High Level Researchers

- In a global context of researcher mobility, ANR wishes to help reinforce the scientific positioning of France while at the same time offering a first-class welcome to foreign researchers. Consequently the agency is proposing a funding instrument dedicated to individuals baptised "Hosting High-Level Researchers" to enable scientists of any nationality to come to France and conduct a research project in a reputed organisation in France. The ANR funding is designed to help French laboratories fulfil their role as host and the researcher to carry out his or her project.
- This instrument forms the subject of a specific call for proposals which is open to all scientific domains and targets two researcher profiles: leading world-class scientists whose career is widely recognised across the globe, and young researchers with high potential who can prove a record of excellence on the international scene.
- The reply to this call is a collaborative effort between the researcher and the hosting institution.

ANR – Hosting High Level Researchers

- Aims to promote the hosting of prominent junior or senior researchers from abroad, by offering them substantial funding to carry out an ambitious research project in various new domains that have received little, if any, attention in France. The programme is intended to enable hosting institutions to strengthen their international visibility and appeal through innovative research while enabling them to integrate new international networks.
- To this end, the Hosting High-Level Researchers call will offer the selected researchers substantial funding – up to €500,000 to junior researchers and up to €1,000,000 to senior researchers.
- Will enable these scientists to carry out their basic or industrial research project for a period of 36 to 48 months. The ANR funding can cover all or part of the researcher's salary.
- Characterized by its outstanding flexibility and strengthened efficiency, with the aim of sustainably attracting to France new talents from any country (simplified eligibility criteria; maintaining the funding to strengthen the project if additional financing is obtained; portability of funding to another institution if a candidate is recruited on a permanent contract).

Map of international projects co-funded 2006 - 2013

Germany 518	United States of America 45	Brazil 18	Hong Kong 7
Spain 169	Israel 39	Poland 18	Slovenia 7
United Kingdom 131	Switzerland 37	Denmark 16	
Slovakia 2	Italy 100	Japan 35	Greece 16
Algeria 4			
Cyprus 1	Austria 82	Belgium 34	Hungary 16
Singapore 4			
Czech Republic 1	Portugal 66	Sweden 34	Norway 15
Tunisia 4	Lithuania 1	Netherlands 59	Romania 30
Ireland 12	Egypt 3	China 55	Finland 25
Luxembourg 12			
Island 3	Canada 52	Turkey 20	India 8
Latvia 2			
Taiwan 47	Mexico 19	Morocco 8	South Korea 2

Map of international projects co-funded 2006 - 2013

JAPAN

FUNDING ORGANISATION	CALL THEMES / DISCIPLINES	YEAR(S)
JSPS Joint multilateral call for proposals "G8-HORCs"	ICT (2010), Materials (2011), Belmont Forum (2012)	2010-2012
JSPS Bilateral joint call for proposals "CHORUS"	Social sciences and humanities	2011
JST Flash call "Great Tohoku Earthquake"	Environment	2011
JST Bilateral joint call for proposals	ICT, Nanotechnologies	2010
JSPS Opening of the Blanc programme	Social sciences and humanities	2008
JST Opening of the Blanc programme	ICT, Nanotechnologies	2008-2010

ANR - Collaborations

- The ANR fosters the development of collaborative research in Europe and throughout the world. Indeed, the agency facilitates the co-funding of research projects between teams from different countries. It signs agreements with counterpart agencies in the world. They can concern targeted themes or be open to all the research themes funded by ANR. Each agency funds the teams from their respective country.
- These agreements are implemented in the context of the generic call for proposals or through the launching of specific international calls for proposals: bilateral or multilateral calls for proposals, multilateral calls launched in the framework of ERA-NETs or joint programming initiatives (JPIs).

ANR – JAPAN Joint Calls

- FUNDING ORGANISATION** **CALL** **THEMES / DISCIPLINES**
YEAR(S)
- JSPS Joint multilateral call for proposals "G8-HORCs"
 ICT (2010), Materials (2011), Belmont Forum (2012) | 2010-2012 |- JSPS Bilateral joint call for proposals "CHORUS"
 Social sciences and humanities | 2011 |- JST Flash call "Great Tohoku Earthquake"
 Environment | 2011 |- JST Bilateral joint call for proposals
 ICT, Nanotechnologies | 2010 |- JSPS Opening of the Blanc programme
 Social sciences and humanities | 2008 |- JST Opening of the Blanc programme
 ICT, Nanotechnologies | 2008-2010 |

H2020 Call for Projects (EU)

What is Horizon 2020?

- Horizon 2020 is the biggest EU Research and Innovation programme ever with nearly €80 billion of funding available over 7 years (2014 to 2020) – in addition to the private investment that this money will attract. It promises more breakthroughs, discoveries and world-firsts by taking great ideas from the lab to the market.
- Horizon 2020 is the financial instrument implementing the [Innovation Union, a Europe 2020 flagship initiative aimed at securing Europe's global competitiveness](#).

H2020 - Goals

- Seen as a means to drive economic growth and create jobs, Horizon 2020 has the political backing of Europe's leaders and the Members of the European Parliament. They agreed that research is an investment in our future and so put it at the heart of the EU's blueprint for smart, sustainable and inclusive growth and jobs.
- By coupling research and innovation, Horizon 2020 is helping to achieve this with its emphasis on excellent science, industrial leadership and tackling societal challenges. The goal is to ensure Europe produces world-class science, removes barriers to innovation and makes it easier for the public and private sectors to work together in delivering innovation.
- Horizon 2020 is open to everyone, with a simple structure that reduces red tape and time so participants can focus on what is really important. This approach makes sure new projects get off the ground quickly – and achieve results faster.
- The EU Framework Programme for Research and Innovation will be complemented by further measures to complete and further develop the [European Research Area. These measures will aim at breaking down barriers to create a genuine single market for knowledge, research and innovation](#).

H2020 – What is a Work Programme ?

- Funding opportunities under Horizon 2020 are set out in multiannual work programmes, which cover the large majority of support available.
- The work programmes are prepared by the European Commission within the framework provided by the Horizon 2020 legislation and through a strategic programming process integrating EU policy objectives in the priority setting.

Horizon 2020 programme sections

- [Excellent Science](#)
- [European Research Council](#)
- [Future and Emerging Technologies](#)
- [Marie Skłodowska-Curie actions](#)
- [European Research Infrastructures, including e-Infrastructures](#)

H2020 - Scopes

- [Industrial Leadership](#)
- [Leadership in Enabling and Industrial Technologies](#)
 - [Information and Communication Technologies](#)
 - [Nanotechnologies, Advanced Materials, Advanced Manufacturing and Processing, and Biotechnology](#)
 - [Space](#)
- [Access to risk finance](#)
- [Innovation in SMEs](#)

H2020 – Main Topics

- [Societal Challenges](#)
- [Health, Demographic Change and Wellbeing](#)
- [Food Security, Sustainable Agriculture and Forestry, Marine, Maritime and Inland Water Research and the Bioeconomy](#)
- [Secure, Clean and Efficient Energy](#)
- [Smart, Green and Integrated Transport](#)
- [Climate Action, Environment, Resource Efficiency and Raw Materials](#)
- [Europe in a changing world - Inclusive, innovative and reflective societies](#)
- [Secure societies – Protecting freedom and security of Europe and its citizens](#)

H2020 Factories of the Future

FoF 1 – 2014: Process optimisation of manufacturing assets
 FoF 2 – 2014: **Manufacturing processes for complex structures and geometries with efficient use of material**
 FoF 3 – 2014: Global energy and other resources efficiency in manufacturing enterprises
 FoF 4 – 2014: Developing smart factories that are attractive to workers
 FoF 5 – 2014: Innovative product-service design using manufacturing intelligence
 FoF 6 – 2014: Symbiotic human-robot collaborations for safe and dynamic multimodal manufacturing systems
 FoF 7 – 2014: Support for the enhancement of the impact of FoF PPP projects
 FoF 8 – 2015: ICT-enabled modelling, simulation, analytics and forecasting technologies
 FoF 9 – 2015: ICT Innovation for Manufacturing SMEs (I4MS)
 FoF 10 – 2015: Manufacturing of custom made parts for personalised products
 FoF 11 – 2015: Flexible production systems based on integrated tools for rapid reconfiguration of machinery and robots
 FoF 12 – 2015: **Industrial technologies for advanced joining and assembly processes of multi- materials**
 FoF 13 – 2015: Re-use and re-manufacturing technologies and equipment for sustainable product life cycle management
 FoF 14 – 2015: Integrated design and management of production machinery and processes

H2020 Energy-efficient Buildings

EeB 1 – 2014: **Materials for building envelope**
 EeB 2 – 2014: **Adaptable envelopes integrated in building refurbishment projects**
 EeB 3 – 2014: **Development of new self-inspection techniques and quality check measures for efficient construction processes**
 EeB 4 – 2014: Support for the enhancement of the impact of EeB PPP projects
 EeB 5 – 2015: Innovative design tools for refurbishment at building and district level
 EeB 6 – 2015: Integrated solutions of thermal energy storage for building applications
 EeB 7 – 2015: New tools and methodologies to reduce the gap between predicted and actual energy performances at the level of buildings and blocks of buildings
 EeB 8 – 2015: Integrated approach to retrofitting of residential buildings
 EE 1 – 2014: **Manufacturing of prefabricated modules for renovation of building (see section 10)**
 EE 2 – 2015: **Buildings design for new highly energy performing buildings (see section 10)**
 EE 3 – 2014: Energy strategies and solutions for deep renovation of historic buildings (see section 10)

H2020 Sustainable Process Industries (SPIRE)

SPIRE 1-2014: Integrated Process Control

SPIRE 2-2014: Adaptable industrial processes allowing the use of renewables as flexible feedstock for chemical and energy applications

SPIRE 3-2014: Improved downstream processing of mixtures in process industries

SPIRE 4-2014: Methodologies, tools and indicators for cross-sectorial sustainability assessment of energy and resource efficient solutions in the process industry

SPIRE 5-2015: New adaptable catalytic reactor methodologies for Process Intensification

H2020 High-performance production

- Pilot line for OLEDs on flexible substrates (ICT 28.b-2015)
- **Pilot line for analytical mid-infrared (MIR) micro-sensors (ICT 28.b-2015)**
- Pilot line for PIC fabrication on III-V and/or dielectric based platforms (ICT 28.b- 2015)
- Pilot activities under the initiative "Factories of the Future"
 - Pilot lines for symbiotic human-robot collaborations (FoF 6-2014) Flexible production systems based on integrated tools for rapid reconfiguration of machinery and robots (FoF 11-2015), Industrial technologies for advanced joining and assembly processes of multi- materials (FoF 12-2015)
 - **Integration of novel nano materials into existing production and assembly lines (NMP 2-2015)**
 - **High definition printing of multifunctional materials (NMP 4-2014)**
 - **Industrial-scale production of nanomaterials for printing applications (NMP 5-2014)**
 - **Scale-up of nanopharmaceuticals production (NMP 8-2014)**

H2020 Smart Structures

- Pilot activities related to **smart structures: lightweight, high strength and functional materials and manufacturing processes addressed to the transport, building and other sectors**
- Pilot activities related to **smart structures** under the initiative Energy-efficient buildings:
 - Pilot lines for **mechanical and electromagnetic resilient envelope (structures, buildings) (EeB 1-2014: Materials for building envelope)**
 - **Manufacturing of prefabricated modules for buildings renovation (EE 1 – 2014)**
 - **Open access pilot lines for cost effective nanocomposites (NMP 1-2014)**
 - **Manufacturing and control of nanoporous materials (NMP 3-2015)**
 - **Innovation actions related to Advanced Thin, Organic and Large Area Electronics (TOLAE) technologies (ICT 3b – 2014)**

H2020 Nanotechnologies

- Horizon 2020 aims to advance scientific knowledge of the potential impact of nanotechnologies on health or on the environment, and to provide tools for risk assessment and management along the entire life cycle.
- Expected impact:
 - Supporting European competitiveness through accelerated market uptake of nano-enabled products
 - Improvement in existing manufacturing processes and industrial productivity
 - Contribution to improved technical knowledge
 - Promoting safe-by-design approaches and contributing towards the framework of EU nanosafety and regulatory strategies (including standardisation)
 - Providing significant long term societal benefits in terms of improved health care and improved quality of life
 - Wherever relevant, key principles to encourage a responsible approach to research and innovation are included in the work programme. Particular attention will be given to societal engagement and the respect of ethical and safety principles.

H2020 Research in Production

- **Manufacturing has a bright future in Europe in a sustainable, knowledge-based society. There is a strong indication of the re-emergence of the EU manufacturing sector as part of the new sustainable economy – in technical, environmental and social terms. But it is clear that such sustainable development requires continuing innovation in the underpinning products and processes, with a need for consistent and effective research over the next decade based on a clear and long-term vision.**
- European companies, particularly SMEs, must evolve and modernise their production processes. New engineering approaches exploiting nanotechnologies, flexible manufacturing, stimulating working environments, ambient intelligence and clean processing should be fostered. This requires more networking, increased flexibility, adapted structures, stronger links between research and innovation, increased added value in products, production and services, and decreased environmental impacts. Research into production processes is therefore a key issue.

H2020 International Cooperation

- International Cooperation is vital if research is to fully tap its potential. Active and more strategic international cooperation will also contribute to achieving the EU's wider policy objectives.
- Research and innovation are increasingly interlinked internationally, in a landscape that has been changing rapidly. Alongside industrialised countries, emerging economies have been strengthening their research and innovation systems. The new International Cooperation strategy focuses on research and innovation, in areas of common interest and mutual benefit.
- Extend the frontiers of scientific knowledge

H2020 International Cooperation

- The European Union is a world leader in research and innovation, responsible for 24% of world expenditure on research, 32% of high impact publications, and 32% of patent applications, while representing only 7% of the population. [Excellent science is at the foundation of economic prosperity and wellbeing. Therefore, Horizon 2020 continues to fund the very best science, rewarding top researchers from Europe and beyond, funding also the establishment of world-class research infrastructures. Researcher training, mobility and career development will continue to be encouraged.](#)
- Global challenges are important drivers of research and innovation. Our planet has finite resources which need to be cared for sustainably: climate change and infectious diseases do not stop at national borders, food safety needs to be ensured across the globe. For global challenges, worldwide answers are needed and collaboration with developing countries will emphasise joint solutions to specific difficulties, whether it be [water management, energy security, agricultural development or particular health issues.](#)
- Invest in competitive industries
- **Make industry, and notably SMEs, more competitive by linking research firmly to innovation, leading to better products and services across the globe. Horizon 2020 will build industrial leadership by supporting business R&I and bringing together the public and private sectors from all over the world. Efforts will concentrate on key enabling technologies – such as advanced manufacturing, microelectronics, nanotechnology and biotechnology – that underpin innovation across many industries and sectors.**

International strategy of EU

- (a) Strengthening the Union's excellence and attractiveness in research and innovation as well as its economic and industrial competitiveness – by creating win-win situations and cooperating on the basis of mutual benefit; by accessing external sources of knowledge; by attracting talent and investment to the Union; by facilitating access to new and emerging markets; and by agreeing on common practices for conducting research and exploiting the results;
- (b) Tackling global societal challenges – by developing and deploying effective solutions more rapidly and by optimising the use of research infrastructures; and,
- (c) Supporting the Union's external policies – by coordinating closely with enlargement, neighbourhood, trade, Common Foreign and Security Policy (CFSP), humanitarian aid and development policies and making research and innovation an integral part of a comprehensive package of external action.

H2020 Participation of Japan

- Japan and more largely extra-EU countries can be partners of H2020 Projects
- Their participation of Japan must be scientifically justified
- Those countries (Japan) must bring their own funding ...

2.3 講演 2

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 坂下 哲也 氏

有人宇宙施設の構造について
 国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟の例
 国立研究開発法人 土木研究所 殿
 先端材料資源研究センター設立記念講演会
 平成27年6月11日
 宇宙航空研究開発機構
 坂下 哲也

- 有人宇宙機, 有人宇宙施設の例
- 宇宙環境の特徴
- 「きぼう」日本実験棟の構造概要
- 「きぼう」日本実験棟の構造設計要求例
- 将来, 実現が期待される宇宙施設

2

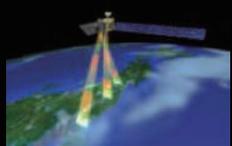
JAXAについて
 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
 JAXA (Japan Aerospace eXploration Agency, ジャクサ)
 2003年10月
 宇宙科学研究所 (ISAS)、航空宇宙技術研究所 (NAL)、宇宙開発事業団 (NASDA) が統合して誕生。
 宇宙航空分野の基礎研究から開発・利用に至るまで一貫して行うことのできる機関です。
 国の政策目標を達成していくための手段としての、宇宙開発利用と航空研究開発を通じて、問題解決に貢献します。

3

ロケット・輸送システム
主力ロケットH-II A, H-II B等の開発



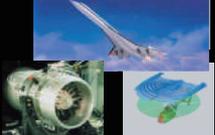
人工衛星・地球観測
人工衛星の開発と利用—地球環境と社会安全に貢献



**国際宇宙ステーション
有人宇宙活動**
宇宙環境利用



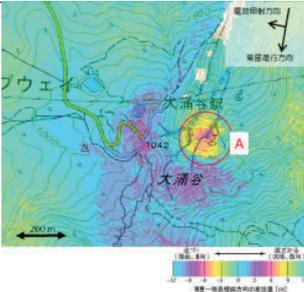
**宇宙航空に関する
基礎基盤研究**



宇宙科学研究
太陽系探査
宇宙の進化を探る天文観測



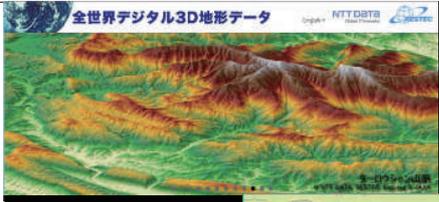
Infinitesimal Collaboration Department



だいち2号 (ALOS-2)
陸域観測技術衛星2号



全世界デジタル3D地形データ



ALOS-2-ALOS
 Advanced Land Observing Satellite

ALOS全球数値地形モデル (DSM) "ALOS World 3D - 30m" (AW3D30)

30m解像度版は無料で公開中

みちびき
準天頂衛星初号機

センチメートル級測位の実現
2018年度から4機体制の本格運用に移行

7

■ 有人宇宙機, 有人宇宙施設の例

- 宇宙環境の特徴
- 「きぼう」日本実験棟の構造概要
- 「きぼう」日本実験棟の構造設計要求例
- 将来, 実現が期待される宇宙施設

8

2011年3月7日の国際宇宙ステーション

9

国際宇宙ステーション

質量: 420トン

109m

73m

進行方向

	ベルギー
	カナダ
	デンマーク
	フランス
	ドイツ
	イタリア
	日本
	オランダ
	ノルウェー
	ロシア
	スペイン
	スウェーデン
	スイス
	イギリス
	アメリカ

10

静止衛星の高度
35,800 km

月まで
384,400 km

月の軌道

12,800 km

11

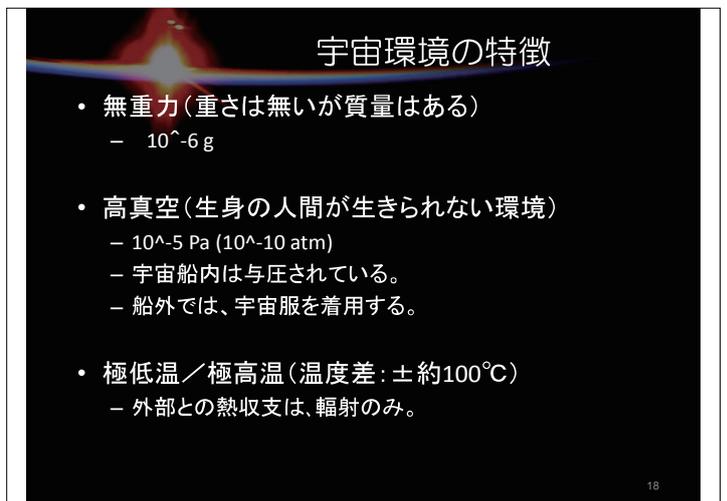
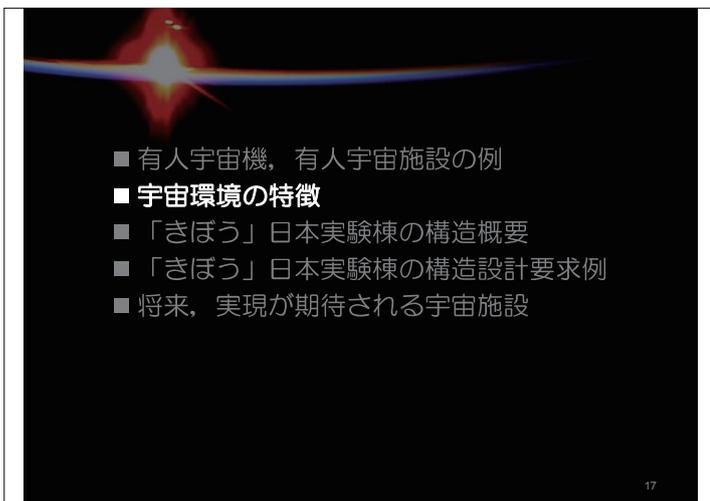
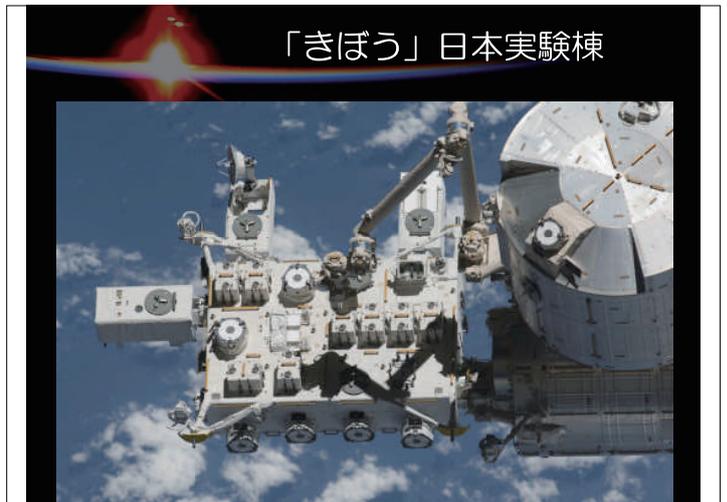
高度 [km]

36000	静止衛星(ひまわりとか)	36,000 km
10000	ヴァン・アレン帯	
1000		
400	国際宇宙ステーション スペースシャトル	400 km
100		
80		
10	オゾン層	
10	ジャンボジェット機	10 km
1	富士山	3.8 km

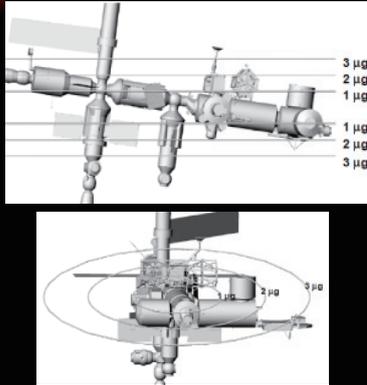
宇宙
大気圏

高度 400 km

12



ISSの微小重量環境分布



19

宇宙環境の特徴

- 放射線
 - α, β, γ線の他に、陽子、重核子、中性子などの高エネルギー粒子。(銀河宇宙線、太陽粒子線、補足粒子線)
 - ISS船内滞在1日で地上の半年分
地上被曝線量: 約2.4mSv/年 ISS船内: 0.5~1mSv/日
 - 磁気圏外では、さらに高い線量。
- 原子状酸素
 - 太陽の紫外線で原子状に解離した大気由来の酸素。
- 紫外線
 - 大気吸収がない(長波長側で95%程度、短波長側でほぼ全て大気が吸収)

20

耐原子状酸素特性向上

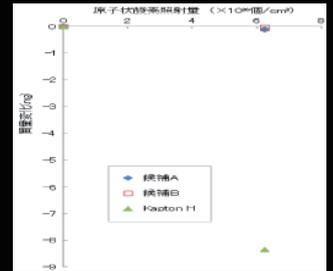
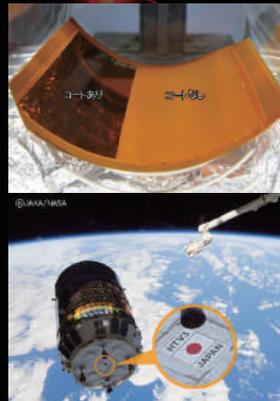
- ✓ 高分子アルミ蒸着フィルムを積層した多層断熱材 (MLI: Multi-Layer Insulation)。
- ✓ MLIの最外層は、耐熱性、耐放射線、耐紫外線性に優れるポリイミドフィルム。
- ✓ ポリイミドの原子状酸素からの保護のため、保護膜をコーティングすることが一般的だが、小さな割れの発生しやすく、原子状酸素が侵入し、ポリイミドフィルムを浸食。

©NASA



21

耐原子状酸素特性向上

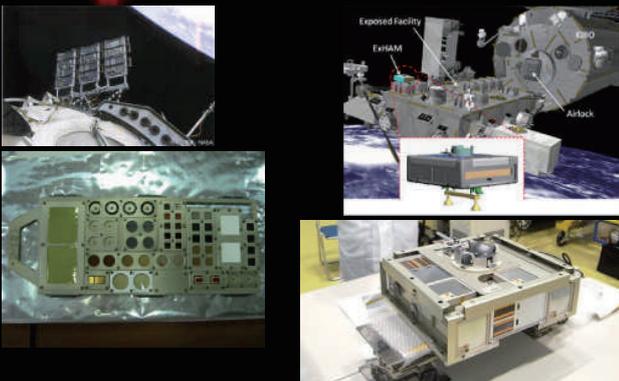


- ✓ 損傷にくく、施工しやすいコーティングを開発。
- ✓ 「このとど」輸送機の機体識別マークに試験適用。

22

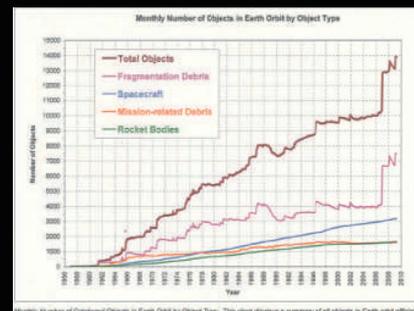
耐環境性の評価

実際に宇宙環境に材料を曝露する実験



宇宙環境の特徴

- スペースデブリ
 - 宇宙機の残骸、分離放出部品、およびそれらの破裂、衝突に伴う2次的放出物。



24

宇宙環境の特徴

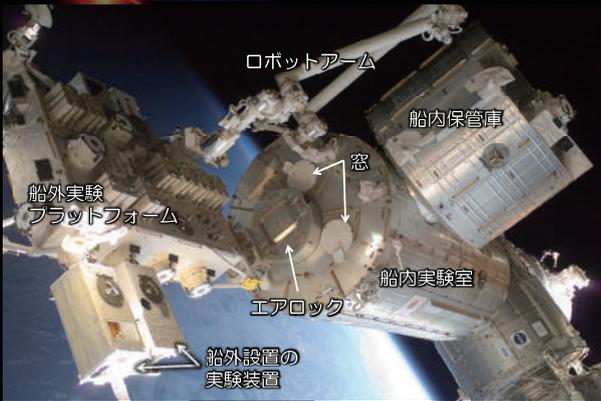
- 閉鎖/隔離空間である。
 - 搭乗員安全の確保
 - 3大ハザード: 火災, 減圧(空気漏れ), 空気汚染
- 輸送費用が非常に高価
 - 補給量が限られる。
 - 信頼性の高いシステムが要求される。
 - 搭乗員の滞在自体に費用がかかる。
 - 搭乗員の作業時間も重要な運用リソース

25

- 有人宇宙機, 有人宇宙施設の例
- 宇宙環境の特徴
- 「きぼう」日本実験棟の構造概要
- 「きぼう」日本実験棟の構造設計要求例
- 将来, 実現が期待される宇宙施設

26

「きぼう」日本実験棟



「きぼう」の構造概要

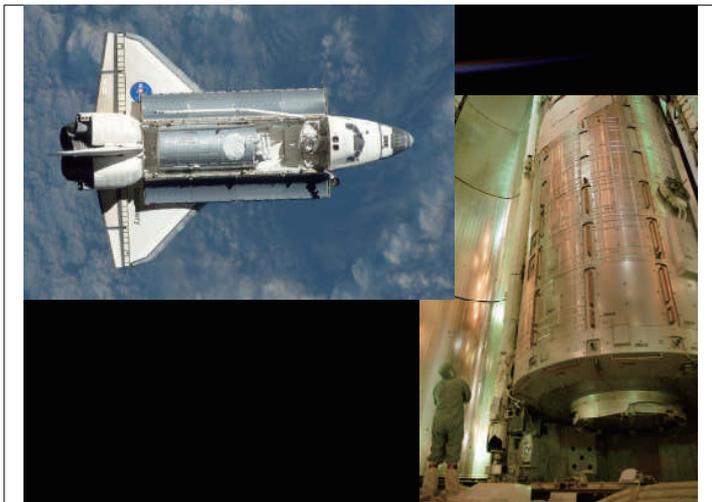
	船内実験室 船内保管庫	船外実験プラットフォーム	ロボットアーム
主構造様式	アルミアイソグリッド パネル 溶接円筒構造	アルミパネル/フレーム モノコック構造	チューブ(親子式6 自由度間接付き)
主な構造材料	シリンダ部: Al2219 その他: Al7075 シャトル結合ピン: INCONEL718	パネル/フレーム: Al7075 シャトル結合ピン: INCONEL718	アーム部: CFRP
シャトル搭載時の 支持方法	5カ所の結合ピン(トランニオンピン)で7自由度を拘束		船内実験室に4カ所 で固定

28

「きぼう」の構造概要



30



ISS構造の設計要求

スペースシャトルの積荷としての要求(続き)

- ✓ 構造数学モデル
- 構造試験(モーダルサーベイ)によるモデルの検証

モデル検証項目	コリレーション要求
境界条件	飛行時の境界条件
非線形性の抽出	線形性が確保されていること
重要モードの選定	<ul style="list-style-type: none"> ・ モーダル質量が5%以上のモード ・ シャトルとのインタフェース荷重やペイロードに影響があるモード
周波数誤差	主要モード 5%以下 副モード 10%以下
モード形の比較	対角項が0.9以上 非対角項が0.1以下
モーダル減衰率	重要モードに対して試験で特定すること
自己直交性	FEMと縮退モデルの間で非対角項が0.1以下

38

ISS構造の設計要求

有人宇宙施設としての要求

- ✓ 振動/衝撃荷重
 - ISS本体との柔結合解析により設定
 - 局所的には搭乗員による荷重が設計標準となることもある
- ✓ 圧力荷重
- ✓ 剛性
 - ロボットアーム把持部固定で0.2Hz
- ✓ 寿命
 - Scatter Factor = 4.0 で15年
 - 全母材の内部、全表面、全溶接線を検査し、初期欠陥が検出限界以下を確認

39

ISS構造の設計要求

有人宇宙施設としての要求(続き)

- ✓ 空気漏洩
 - 0.5 lb/day (0.227kg/day) 以下
 - シール部の個別計測にくわえ、モジュール全体を真空槽に入れて最終確認
- ✓ 隕石・デブリ防御
 - 非貫通確率 0.973/10年 以上
- ✓ 放射線防護
 - 搭乗員の造血器官の被曝量が 400mSv/年 以下

40

ISS構造の設計要求

有人宇宙施設としての要求(続き)

- ✓ 保全性要求
 - 交換、保全を予定している機器、装置は、必要な作業クリアランスを設けること
 - 加えて、船外活動による作業は、事前に水中での模擬試験で作業性を確認する

(ISS計画初期には、構造を伝播する音響振動によって、デブリの衝突位置や空気漏れを検知する構想があったが、実用化されていない また、空気漏れ修理キットも実用化されていない)

41

ISS構造の設計要求

42

ISS構造の設計要求

有人宇宙施設としての要求(続き)

✓ 安全要求

ISSの喪失、搭乗員の致命的な障害に関わる潜在的危険事象(カタストロフィックハザード)は、3つ以上の独立した方法で制御する(2故障許容)

ただし、構造等で冗長系の構成が合理的でない場合、リスク最小化設計を適用する(適切な部品、材料、工程の選定、最悪環境条件に対する十分なマージンの確保等)

43

- 有人宇宙機, 有人宇宙施設の例
- 宇宙環境の特徴
- 「きぼう」日本実験棟の構造概要
- 「きぼう」日本実験棟の構造設計要求例
- 将来, 実現が期待される宇宙施設

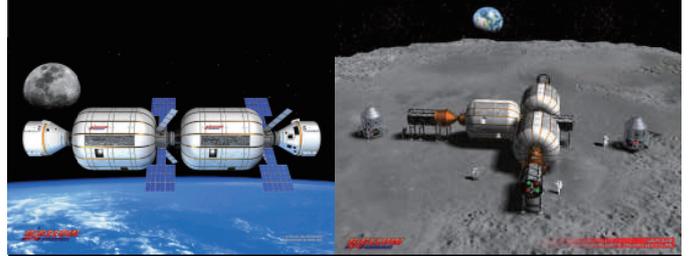
44

ポストISSの動向

- 各極は、ISSの国際協力枠組みを基に宇宙探査を進めることを想定し、ISSを利用した有人探査に必要な研究開発を推進。
- 世界の主要な宇宙機関で、将来の宇宙探査について議論。2011年には、最終目標を火星とした案が公表された。
- 2014年1月にはワシントンDCで政府レベルでの宇宙探査にかかる協議が開催された。(第2回は日本開催を想定)

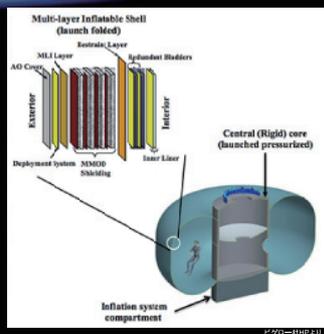


膨張式居住棟



46

膨張式居住棟



47

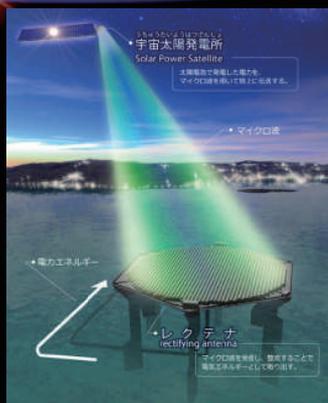
月面活動拠点



出典: 清水建設HP

48

宇宙太陽光発電システム



出典: 京都大学 生存圏研究所 篠原研究室

49

軌道エレベーター



出典: 宇宙エレベーター協会 / Space Elevator Visualization Group

50



3. パネルディスカッション資料

3.1 パネルディスカッション概要

テーマ：未来の土木構造物と新材料の活用

パネリスト： 長岡技術科学大学

名誉教授 丸山 久一 氏

東京工業大学

教授 坂井 悦郎 氏

鹿島建設株式会社

土木部長 坂田 昇 氏

国立研究開発法人物質・材料研究機構

元素戦略材料センター長 土谷 浩一 氏

株式会社高速道路総合技術研究所

橋梁資源研究グループ長 紫桃 孝一郎 氏

国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター

材料資源研究グループ長 渡辺 博志

モデレーター： 国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター

上席研究員（先端材料・高度化担当） 西崎 到

3.2 パネルディスカッションのためのアンケート結果

パネルディスカッションを行う前に、会場で聴講者の皆様にパネルディスカッションのためのアンケートを配付し、その回答の一部を反映させてパネルディスカッションを行った。パネルディスカッションのためのアンケート結果は表-3.2.1 および表-3.2.2 に示す通りである。

表-3.2.1 パネルディスカッションのためのアンケート結果①

問①：新材料を土木構造物により活かすのに、課題となっていること、今後必要と思われることは、どのようなことでしょうか？

番号	回答	所属
1	<ul style="list-style-type: none"> ・規準、規格の整備 ・耐久性の確保とその規準 	材料メーカー
2	<ul style="list-style-type: none"> ・規準類の整備が課題である。 ・新材料採用のしくみづくりが課題。 (新材料を使用する際、試験等で性能、安全性を確認しても、規準にない材料はなかなか採用されない。発注者側の担当者も採用して良いか判断できない。) 	ゼネコン、建設会社
3	<ul style="list-style-type: none"> ・実績のない材料を積極的に使用できるようにすること 	材料メーカー
4	<ul style="list-style-type: none"> ・簡単に使ってみることができるようにする仕組み。 	その他
5	<ul style="list-style-type: none"> ・道路橋示方書などが旧態のままになっており、新たな材料を使用する場合に要する説明や資料、また施主側の理解が極めてとぼしい。 ・新材料使用の際のマニュアルやガイドラインがない場合が多く、明確な施主への説明ができにくい。 	社団・財団法人
6	<ul style="list-style-type: none"> ①課題 ・革新的な高機能材料(高強度、高じん性、高耐久性、優れた修復性、廃棄時の無害性等々)の開発 ・上記材料の安定的な生産(量と品質の確保)と供給 ②今後必要な性能 ・センシング技術との親和性(劣化や異常が容易に感知できる方がよい) 	コンサルタント
7	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物に適用したときに、新材料が当初想定した挙動と異なると問題になるので、どのように適切な物性の評価/実験方法を定めたらよいか、長期的挙動含め ・複数の素材を組み合わせた時の評価方法はどの様にしたらよいか(挙動、相互の材料への悪影響) 	ゼネコン、建設会社
8	<ul style="list-style-type: none"> ・新材料を土木構造物に使用した際の長期耐久性の検証(ライフサイクルコストを見据えた上での) ・新材料にリサイクル材料(原材料の一部として)を使用した場合の認証等。また、利用技術の展開手法の確立 	ゼネコン、建設会社
9	<ul style="list-style-type: none"> ・初期投資額(材料コスト、施工コスト等)とメンテナンスコストのバランスの「考え方」についての議論が必要。 ・今後、益々熟練工の減少が見込まれる。建設材料は人間が行う事を前提としたものが多く、(設計、施工を含めて)機械化に適した材料を考える必要があるのではないか。(例えば、鉄筋など) 	ゼネコン、建設会社
10	<ul style="list-style-type: none"> ・耐用年数の設定 ・現場で早く使うため、不具合が起きても積極的に使う(リスクヘッジする仕組み) 	国の機関
11	<ul style="list-style-type: none"> ・材料の寿命、耐久性。 	ゼネコン、建設会社
12	<ul style="list-style-type: none"> ・新材料の耐久性 	国の機関
13	<ul style="list-style-type: none"> 課題 ・新材料の耐久性評価方法 ・促進劣化試験と実際の暴露環境、供用環境との相関が曖昧な点。 今後必要と思われること ・民間企業との共同研究を活発に行ってほしい。 	材料メーカー
14	コスト	コンサルタント
15	<ul style="list-style-type: none"> ・お金と将来投資への理解(ライフサイクルコスト) 	ゼネコン、建設会社
16	<ul style="list-style-type: none"> ・コストと新材料の効果のどちらを重視するかが課題と思います。(例えば、コストが安ければ、新材料を用いるのに問題ないと思いますが、コストが高い場合、費用or効果のどちらを優先するのか?) ・実績がない材料を受け入れてもらいにくい。効果が高ければ積極的に使用していくことが望ましいと思います。 	材料メーカー
17	<ul style="list-style-type: none"> ・安全性、耐久性に富み、かつ安価であることが必要。 	社団・財団法人
18	<ul style="list-style-type: none"> ・実績が無い材料は、使用しない状況を変えること。 ・一律な設計手法を変える。 	ゼネコン、建設会社
19	<ul style="list-style-type: none"> ・耐久性を向上するための材料の選定や評価の手法の確立が課題と思われます。 	ゼネコン、建設会社

番号	回答	所属
20	新材料を紹介しても、施工実績を問われることが多い。このような考え方は、新材料の発展の妨げになる。 これに対し、施主（NEXCO、JRなど）は積極的に実績作りの場を提供すべきと考える。 また、理論や室内試験データのみでも、適切は評価が受けられるような、試験・評価方法が確立されるべきである。	材料メーカー
21	・公共性の高い構造物が多いため実績が要求され新材料が採用されにくい。→指針、ガイドラインの整備 ・高度な品質管理が要求される技術があり、所定の性能を確保するのにコストがかかる。 ・品質規格、要求技能が整備されていないものは採用しにくい。	ゼネコン、建設会社
22	・防火・耐火の優れた軽量・たわむ・強度のあるハイブリッド材料、特に公共建造物には不老長寿の万能なハイブリッド材料によって200年耐用年数が可能となるような材料の開発に期待している。キーワードは自己修復機能	その他
23	・国土交通省と経済産業省の協働。	材料メーカー
24	・作業員の高齢化や人手不足となるおそれがあると考えられます。塗装などの補修工事における省力化（機械作業の導入など）も念頭にふまえた、補修技術が必要ではないでしょうか。	ゼネコン、建設会社
25	・実際の使用結果に基づく評価 ・国が主導して評価（ex、NETISの活用効果評価等）	コンサルタント
26	・全国一律に適用する材料は難しいのではないかと。	コンサルタント
27	・ニーズ側として必要な条件を熟知しておくことが大切だと思います。	社団・財団法人
28	・鉄やアルミ、ガラスなどと異なり、土木材料はスラグやフライアッシュなど、他産業の副産物を利活用し得る特徴を有していると思います。例えば、現在、原子力停止、エネルギー自由化の中で、石炭火力から排出される石炭灰の利活用が強く望まれています、「質が悪く、高い」という課題が副産物の利用普及の壁になっています。iMaRRCは「新材料」ではなく「先端材料」という名称ですので、新しさより、先に進むための材料研究を志向されていると推察しておりますが、わが国が真の意味で資源循環をなしとげるために市場構造や一般市民の理解を得るなど、ソフト面での検討課題があると思いますがいかがでしょうか？	教育機関
29	・腐食（鋼構造、コンクリート中の鉄筋、PC鋼材） ・副産物の有効活用（使い方、輸送、貯蔵） ・新材料でないと実現できない構造物の開発。	教育機関
30	・開発された新材料の使い方を検討するのではなく、従来材料が抱える課題を解決する為の材料を開発するという視点を忘れないで欲しい。	国の機関
31	・土木では新材料に関して大変保守的。材料仕様から少しでもはずれたものは使えないのが現実。性能規程がまだまだ浸透していない。	ゼネコン、建設会社
32	・土木構造物に使用する全ての土木材料に必要な事で当然と言えばそれまでですが、安価であること、材料の運賃がかからない事（少しの量で効果があるもの、あるいはどこでも生産できるもの）施工性が良い事、ハンドリングが容易なこと（配合等ラフな扱いでOK）	ゼネコン、建設会社
33	・新材料開発に際して、既存プラントが使える場合、そのままつかえない場合←大量生産に向けて設備投資のリスク ・開発初期段階では単価が最適化されていないケースが少なくない。要求価格とのギャップ。 ・主に量産・コストの問題が素材・化学メーカー側から土木分野への新材料で紹介、ご提供における障壁になりやすいと思われまます。	材料メーカー
34	・投資対効果の新たな評価法 ・新材料の強度や仕様特性の規程標準化 ・使用時の劣化や寿命予測できるモニタリングや評価方法の普及。	社団・財団法人
35	・開発成果の社会実装のために必要な費用、価格上昇分の国民合意の下の社会全体での負担を可能とする仕組作りが今後必要ではないかと。	材料メーカー
36	・耐震、免震に使われる材料（金属）の耐久性をどのように保証、その検証をすればいいのかが、材料メーカーサイドにも提示していただければと思います	材料メーカー
37	・FRPの更なる活用。例えば、ガードレールや補強筋などを連続的に製造可能なもの。	教育機関
38	・自己修復材料や高耐久材料等、材料的な開発例やインフラ構造物の長寿命化だけでなく、地震防災や大地震対策としての構造材料研究開発	ゼネコン、建設会社

番号	回答	所属
39	<ul style="list-style-type: none"> ・競争入札のため、特許保有のものがspec in しにくい。 ・地方庁における地元会社育成方針による、設計変更の難しさ(自社のものではないため良さを伝えることが難しい?) 	ゼネコン、建設会社
40	<ul style="list-style-type: none"> ・やはり高耐久のための新材料、補修材料の開発が必要であると思われる。また、表層品質の確保のための養生方法、また表層品質の回復方法の開発(再水和) 	教育機関

表-3.2.2 パネルディスカッションのためのアンケート結果②

問②：先端材料資源研究センター（iMaRRC）に期待することをお書きください。

番号	回答	所属
1	・上記（規準、規格の整備、耐久性の確保とその基準）の為の基礎データの採取 ・規準の作成	材料メーカー
2	・土木構造物はマッシュであり、他分野の高機能材料や高性能技術の転用が難しい面がある。 ・耐久性、耐候性の面もあって、そのまま利用できる技術は少ないかもしれないが、やはり革新技術の開発には他分野との交流が欠かせない。 様々な分野との交流、共同研究を進めて欲しい。	コンサルタント
3	・新材料採用するため、規準類のしくみの整備	ゼネコン、建設会社
4	・新規材料、新技術の適応性の判断は、実際の現場レベルの評価を踏まえた上で行ってほしい。	ゼネコン、建設会社
5	・材料としてのパフォーマンスとともに、製造や施工を含めた最適材料の研究。 ・建設に直結する研究機関として、規格や仕様の「数値」等の最適化に関する『基礎的』研究（例えば、暑中コンクリートの温度等）→新技術も大事ですが、旧技術をブラッシュアップする機関も必要です。（誰もやらないので）	ゼネコン、建設会社
6	・実用性	コンサルタント
7	・情報発信（セミナーやレポートなど）	国の機関
8	・上記（耐久性を向上するための）材料を活用する上での管理手法の確立や材料の耐久性保証となる研究開発を期待します。	ゼネコン、建設会社
9	・上記（理論や室内試験データのみ新材料）の評価ができること。	材料メーカー
10	・新技術の普遍化	ゼネコン、建設会社
11	・CFRPはまだ道半ばであり、コスト高が課題、CFRPに耐火性能や防火性能を付加した技術が導入できないのか？ガラスやセラミックとのハイブリッドで実現できるのではないのでしょうか。	その他
12	・積極的な情報の発信	ゼネコン、建設会社
13	・トライ&エラーを繰り返してでも実験室内だけでなく、実用化に向けた実験を期待しています。	材料メーカー
14	・上記（塗装などの補修工事における省力化（機械作業の導入など）も念頭にふまえた補修技術が必要）のように、調査技術のみでなく、補修技術をふまえた材料開発を期待します。 ・また、補修工事がなされて40年程度経過していると思いますが、再劣化事例を踏まえた資料の整備、および、情報の発信を期待します。	ゼネコン、建設会社
15	・他分野材料の活用促進	コンサルタント
16	・期待しています。	コンサルタント
17	・NIMSや理研、産総研との連携	教育機関
18	・国の将来を見据えた、先進的な研究を行ってほしい。 ・民間企業や大学との交流を活発に行ってほしい。 ・性能を規定して、新材料の開発目標が明確になるような規準作りをしてほしい。 ・国の管理する構造物をどのように管理してゆくの、長期的な思想を示して、毎年報告してほしい。	材料メーカー
19	・多様な材料を土木構造物で使用する際のルール作り。（必要な性能と評価指標、検証法の提示）。特に、今後使用機会が増加する補修、補強材料	国の機関
20	・新材料の適用などを示すマニュアル、ガイドラインの作成、歩掛、見積り方法の紹介。 ・プレキャスト化などに対する大胆な使用側の紹介。 ・鉄筋つぎてに関する千鳥配置をしなくてもよい設計事例の紹介やマニュアル。 ・コンクリートに対する連硬性、w/cの小さいコンクリート、フライアッシュや高炉セメント、シリカヒュームなどの使用により抵抗の少なくなるやり方を紹介して頂きたい。	社団・財団法人
21	・斬新なアイデアで（やわらかい頭で）全く新しい、使える土木材料を開発して下さい。	ゼネコン、建設会社

番号	回答	所属
22	・理事長のおっしゃったニーズ、シーズの合致について、高いご知見のおありの研究者の方々との共同研究、ご相談。	材料メーカー
23	・国土の2050シナリオや将来像に対して維持管理の新たなインフライメージ作りを旗ふって頂きたい。	社団・財団法人
24	・土木には使用されたことのない金属材料メーカーです。どのようにすれば土木に使っていただけるのか。建築研究所関係では建築研究開発コンソーシアムがあり、官、学、民も建築メーカーだけでなく材料メーカーも参加できますが、そのようなシステムがあれば、そこにセンターさんが中心的であっていただければと思います。	材料メーカー
25	・含浸材系の表面保護材の性能について明確にしてほしい。含浸系のものは、再補修の場合、被覆材よりも再施工が可能で、施工が簡単である。→水は吸水しないが、水蒸気は？→コンクリート内部の湿度が〇%のとき腐食するのか明確に。しかし、含浸系のものは使用実績が少なくほとんど使用されていない。	教育機関
26	・新技術の実用化。	その他

3.3 パネルディスカッション議事録

【司会】

それでは、パネルディスカッションを始めさせていただきます。

パネリストの皆様をご紹介させていただきます。

パネリストお1人目でございます。長岡技術科学大学 名誉教授 丸山久一先生です。丸山先生には、先ほど基調講演をして頂きましたが、コンクリート構造物の耐震補強にFRP材料を用いるなどの研究をされております。

続きまして、東京工業大学 教授 坂井悦郎先生です。坂井先生は、東京工業大学大学院 理工学研究科 化学工学専攻を修了され、東京工業大学工学部の助手となられたのち、電気化学工業株式会社で12年間勤められ、東京工業大学工学部助教授、教授となられ土木材料の研究をされております。また、現在は中国建築材料科学総院の客員教授も勤めておられます。

続きまして、鹿島建設株式会社 土木管理本部 土木技術部長 坂田昇様です。坂田様は、鹿島建設に入社後、高流動コンクリートの開発をはじめとする多くのコンクリート分野の研究をされ、東京大学受託研究員や長岡技術科学大学の非常勤講師も勤めておられました。

続きまして、NIMS、国立研究開発法人物質・材料研究機構 元素戦略材料センター センター長、土谷浩一様でございます。土谷様は、北海道大学工学部応用物理学科の助手、豊橋技術科学大学工学部生産システム工学系の助教授、准教授を経て、現在の物質・材料研究機構で金属材料に関する研究をされておられます。また、若手国際研究センター (ICYS) 副センター長、筑波大学大学院 数理物質科学研究科の教授も兼任されておられます。

続きまして、株式会社 高速道路総合技術研究所 橋梁研究担当部長 柴桃孝一郎様です。柴桃様は、日本道路公団に入社され、高速道路総合技術研究所にて調査研究業務にも携わっておられます。その間、道路橋示方書耐震設計編をはじめ、各種技術基準の策定作業も行ってこられました。

最後に、国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ長 渡辺

博志でございます。なお、モデレーターは土木研究所 先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ 先端材料・高度化担当 上席研究員 西崎到が努めさせていただきます。ここからの進行はモデレーターの西崎上席研究員にお願い致します。よろしくお願いいたします。

【モデレーター：西崎上席研究員】

それでは、パネルディスカッションを始めさせていただきます。まずは、主旨を簡単に説明させていただきます。先端材料資源研究センターが4月に発足しましたが、土木材料分野において変化あるいは多様化しつつある研究開発に対する社会的ニーズに対応するために、外部研究機関と連携して先端的材料の実用化に関する研究を推進することを目的としています。

では、インフラへの活用が期待される先端的材料にはどのようなものがあるか、どのような可能性があるか、また、先端的材料の活用によって土木構造物をどのように変えることができるか、あるいは先端的材料活用の課題はどのようなものがあるのか、先端材料資源研究センターの発足に当たりまして、この果たすべき役割・機能を考える上でどのようなことが関係し検討することが必要か、が重要と考えられますので、今回、このようなタイトル「未来の土木構造物と新材料の活用」でパネルディスカッションをさせて頂くことになりました。

本日のパネリストは、先ほどご紹介がありましたように、基調講演を頂きました丸山先生、4名の材料分野が専門の皆様、先端材料資源研究センターの渡辺グループ長をパネリストとして加わって頂いてディスカッションをさせて頂きたいと思っております。

次に進め方をご説明させていただきます。まず、パネリストの皆様から10分程度ずつ、それぞれのご専門の立場から話題提供を頂きます。丸山先生からは既に基調講演を頂いておりますので、それ以外の5名の方をお願いすることになります。その後、話題提供を頂いた内容を中心に、ディスカッションを進めさせて頂く、という進行をしたいと思っております。

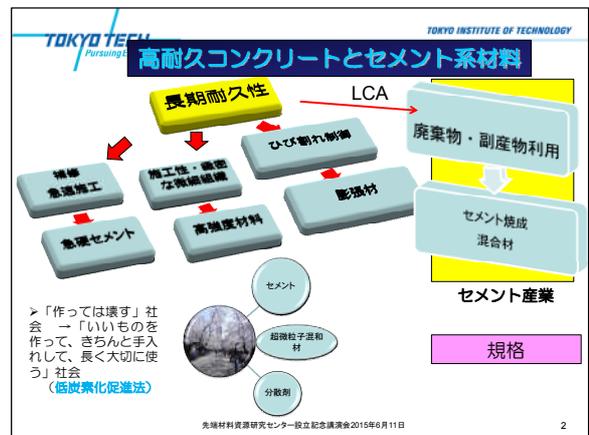
それでははじめに坂井先生から、話題提供をよろしくお願いいたします。

【パネリスト：東京工業大学 坂井悦郎教授】

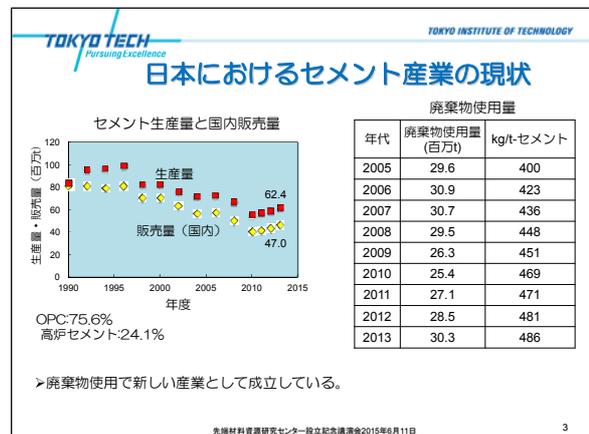
東工大の坂井です。今日はこのような席を与えて頂きましてありがとうございました。「コンクリート構造物の高耐久化とセメント系材料」というタイトルでセメントの方の立場から、若干の内容説明をさせて頂きたいと思ひます。日本のセメントがどのような状況にあるかということと、世界と比べて日本のセメントは規格などがどうなっているのかをご説明したいと思ひます。それから、実際高耐久化をするためにいろいろな研究をやっているわけですが、このようなお話しをしたいと思ひます。

まず最初に、高耐久化に関連しては、基本的にひび割れ制御が大事になってきます。急速施工というのも大事ですが、補修も含めると急硬セメントというものもありますが時間がありませんので今回は割愛させて頂きます。高耐久化に関連しては、緻密なもの、施工性確保、といったものが一番大きくて、高強度材料に連動しているということになります。後で超高強度コンクリートの話が出てくると思ひますが、シリカヒュームを使うとか、骨材を使う、ペーストを使うとか技術開発で行われていることですが、日本のセメントの場合は一番大きな違いがありまして、廃棄物や副産物を原燃料に使っているというのが一番大きな点であります。これによって健全な社会資本を造るためのセメントを供給しているわけで、本来はもう少し技術屋さんの評価が上がっていい分野なのですが、まだなっていないということはその原因がどこにあるのか、我々も少し考える必要があるかなと思ひます。それから、セメントの場合、材料全体として規格の問題が非常に大きい。規格があるかないかによって、これが使いやすいか使いにくいのか、という大きな難題があるということです。

セメントの日本の原料ですが、生産量などはご存じの通りだと思いますが、廃棄物使用量というものがあるのが3,000万トン近く、混和材も含めて半分くらい原料として使っているというのが特徴になっています。従って、これを無視して色々な議論をするのは非常に難しいというのが特徴だと思います。



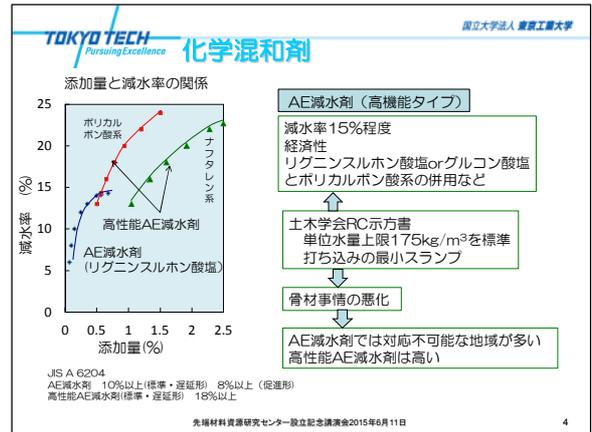
出てくると思ひますが、シリカヒュームを使うとか、骨材を使う、ペーストを使うとか技術開発で行われていることですが、日本のセメントの場合は一番大きな違いがありまして、廃棄物や副産物を原燃料に使っているというのが一番大きな点であります。これによって健全な社会資本を造るためのセメントを供給しているわけで、本来はもう少し技術屋さんの評価が上がっていい分野なのですが、まだなっていないということはその原因がどこにあるのか、我々も少し考える必要があるかなと思ひます。それから、セメントの場合、材料全体として規格の問題が非常に大きい。規格があるかないかによって、これが使いやすいか使いにくいのか、という大きな難題があるということです。



もう1つ大事なものは、分散剤というものを必ず日本のコンクリートは使っています。本来ですとリグニンスルホン酸があって、減水率の高いポリカルボン酸（等）という高性能 AE 減水剤という規格があるのですが、実はこういうメカニズムは研究されてかなりクリアになってきていると自分は思っています。ところが、現状（世の中で）動いているのはこれ（高性能 AE 減水剤）ではないのです。要するに高性能 AE 減水剤は高すぎるということで、減水率がちょうど 15% になるところ、ポリカルボン酸とリグニンスルホン酸をブレンドしたものが主流になってきている。そうすると、コンクリートのデータを学会等で聞いても意味がないですよ。同じコンクリート、絶対できないですよ。それは、結局ブラックボックスになってしまっていて、本来であればきちんとお金を払って頂き、高性能 AE 減水剤を使って頂き、バックデータとしてきちりとデータを整理して頂いた方が将来の日本のためだと思うのですが、中々新しい材料には価格に非常に厳しいというのが問題だと思えます。

それから、規格ですが、日本は非常にピュアなセメント、要するに混合材が 5% 以下のセメントを使っていますが、こんな国はほとんどありません。それは何故かという、ISO の規格というのは何を使っても良いということになっています。そうしますと、例えば 42.5 というクラスが世界的には 1 番動いているクラスですが、大体 52.5 というのが日本のグレードです。これ（42.5）に混合材を入れたものが主流と、ほとんど混合セメントが主体である。世界の議論をするときには、この点が全く日本と違うということを理解することが必要です。

これは、前回のセメント関連の国際会議のときに Holcim（スイスに本社を置くセメント会社）がまとめたデータです。グラフの下の段が 52.5 という日本が作っているセメントです。（最近）は 20% 程度でほとんどが混合セメントという状況の中で、どう考えていくかということです。

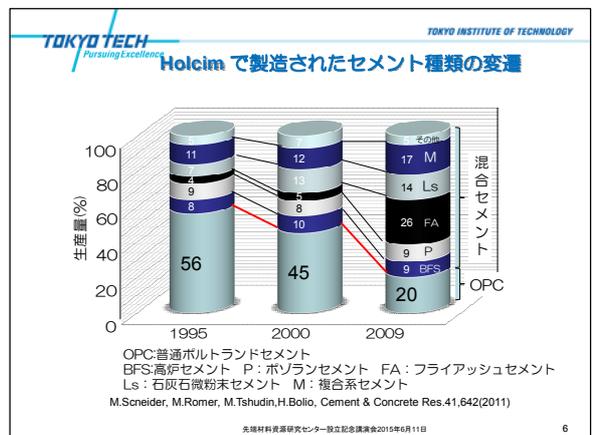


セメントのISO (欧州) 規格

強度クラス	圧縮強さ/N・mm ²			凝結始発時間/分	安定性 (mm)
	2日	7日	28日		
32.5N	—	16.0以上	32.5以上 52.5以下	75以上	10以下
32.5R	10.0以上	—	32.5以上 52.5以下	75以上	10以下
42.5N	10.0以上	—	42.5以上 62.5以下	60以上	10以下
42.5R	20.0以上	—	42.5以上 62.5以下	60以上	10以下
52.5N	20.0以上	—	52.5以上	45以上	10以下
52.5R	30.0以上	—	52.5以上	45以上	10以下

CEM I: 普通 CEM II: 混合 6~20, 21~35 (SF 6~10) BFS, PZ, SF, FA, CCLC, 複合
 CEM III: 高炉 (36~65, 66~80, 81~95) CEM IV: PZ 複合 CEM V: 高炉と複合

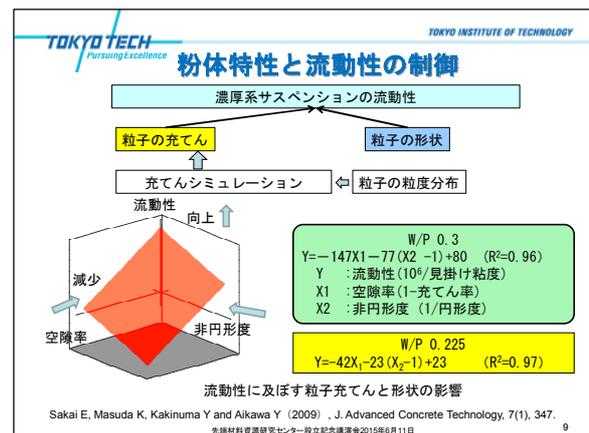
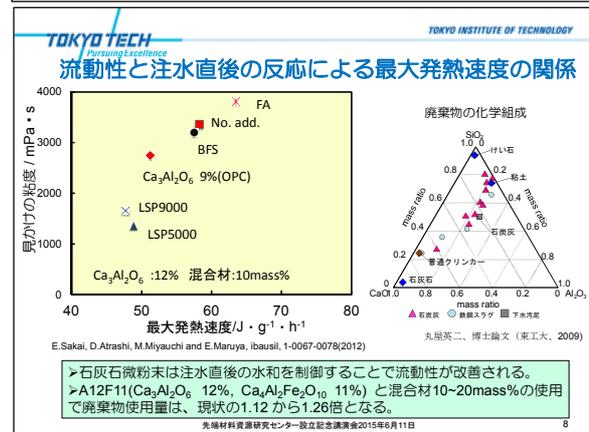
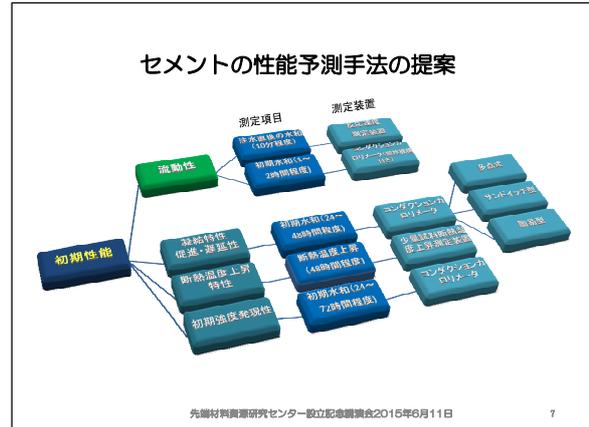
先端材料資源研究センター設立記念講演会 2015年6月11日



従いまして私どもは、まず1番最初にやりましたのは、色々なところで検査できるシステム、このセメントはどのようなセメントなのかが分かるシステムを作る必要がある、ということで、こういった熱量計を開発しまして、初期性能は全て熱量で分かるようにすることをやっています。大体できるようになってきています。

その一例ですが、宇部さん達とやった内容ですが、廃棄物をたくさん使用しようとすると、アルミのコンテンツが高い。実際作ると C3A というのが増え、廃棄物を増やすと普通のセメントに比べて流動性が悪くなります。しかし、混合物を10%ぐらい入れる、中でも石灰石は圧倒的に優れた性能を持っており、C3A の反応抑制効果が大きいです。日本は非常にピュアな石灰石を持っています。日本としては有利な技術開発になると思っています。ところが、これには欠点がありまして、5%まではポルトランドセメントとして使えるのですが、それ以上の規格がありません。要するに石灰石ポルトランドセメントはヨーロッパには規格があり使えるようになっているのですが、日本にはない。ということで、技術開発してもそういったものは使っていけない、というのが大きなネックかなと思っています。

施工性を確保するために、流動性というのが大事ということで、粉体の特性が分かれば、方向性が分かるのではないかと色々やってきました。大体、充填すると粒子の形状というのが分かりますし、ほとんど流動性が分かるだろうというところまで（研究は進んで）きています。与えられたセメントの粉体の特性が分かれば、大体流動性も分かるだろうということです。

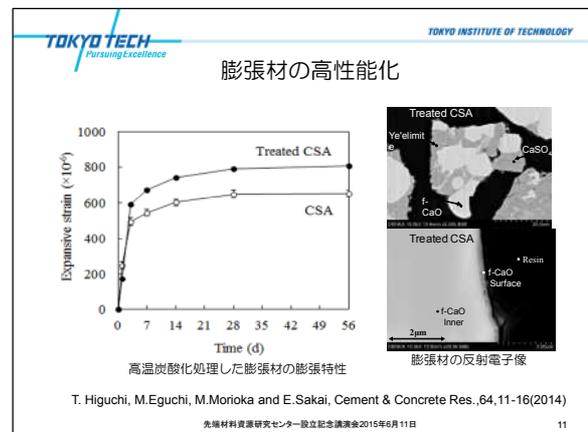
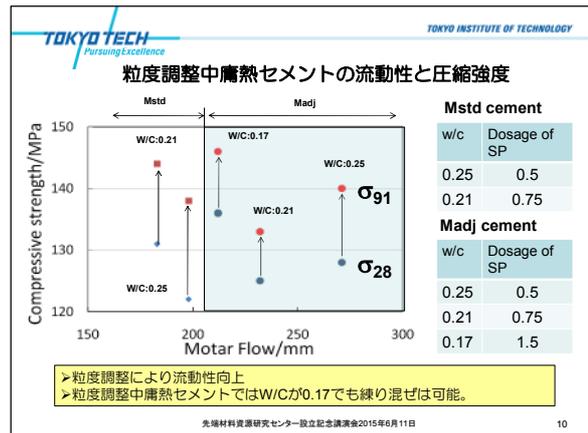


更にこういうものを使って粉体の設計をすると、例えば中庸熟セメントですが、水セメント比が0.25、モルタルフローで270mmくらいあって、強度としても140MPa、シリカヒュームを使わなくてもこのくらいのは作れる、ということは粉体設計としてはできるようになっている。ただ、こういう技術を汎用のものに使っていくときには商用の問題や生コン屋さんにご導入するかが材料系として大きな問題になってきます。

それから、最後ですが、膨張材については高性能な膨張材が開発されたのですが、更に機能を上げようということで、デンカの方がやっているのは、どうしても反応の制御について、反力ができる前に反応してしまっているという問題があり、それを何とか制御しようというのが、高温で炭酸化反応をさせて少し抑えてあげると、更に膨張力が上がるというようなことで、膨張材の周囲に炭酸カルシウムの層を作って反応させてやろうということをやっている。

基本的にはこういう色々な材料開発をしているのですが、やはり規格とコストというのが、こういう新しい材料を入れるときには問題になるかな、と思います。

セメント系に関連する話題提供です。



【モデレーター：西崎上席研究員】

坂井先生、ありがとうございました。

それでは、引き続きまして、坂田様からご発表頂きたいと思います。よろしくお願いいたします。

【パネリスト：鹿島建設 坂田昇氏】

それでは続きまして、坂田の方から「建設材料の技術開発について」としてお話しさせていただきます。まず、4つの知られている材料の経緯についてお話したいと思います。

建設材料の技術開発について

2015年6月11日

鹿島建設株式会社
坂田 昇

耐久性に資する新材料・技術

- ①高靱性セメント複合材料
- ②超高強度繊維補強コンクリート
- ③超高耐久コンクリート
- ④シラン・シロキサン系表面含浸材

①高靱性セメント複合材料 -ECC-

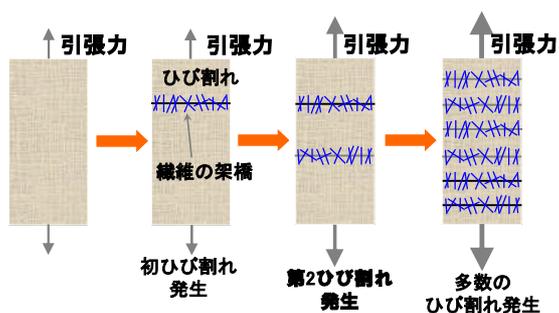
ECCとは？

- ・モルタル材料に高強度の有機繊維を混合
- ・優れたひび割れ分散性能
- ・高い耐久性（耐侯性）と優れた変形性能

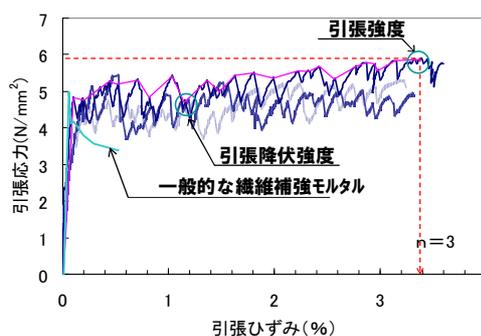


高靱性セメント複合材料として、これは非常に変形性のあるモルタル系の材料です。一般的にコンクリートは脆い。有機系のは粘りがある。ただ、有機系のは紫外線に弱くてすぐ劣化してしまうという有機繊維をモルタルの中に入れることによって、長期耐久性があって粘りのあるものを作ったというものです。

なぜセメント系材料が変形するのか？

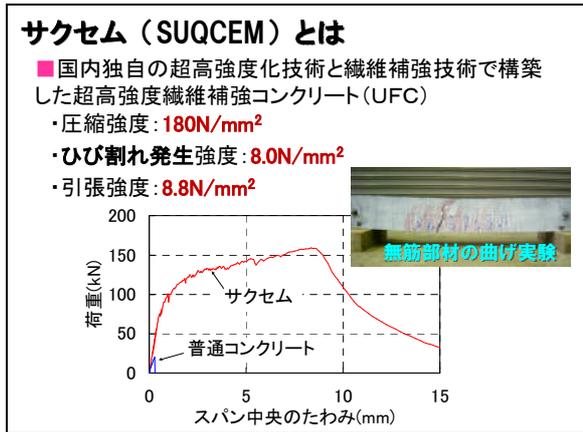


ECCの引張応力-ひずみ曲線の例



基本的に引張を加えると、モルタルの部分にひび割れが生じるのですが、そこに繊維が架橋して、そこが一番強くなり、そして次の場所にひび割れが入る。これが鋼繊維ですと、鋼繊維は強いのですが、鋼繊維とモルタルの付着は弱いので、その部分で抜けてしまう。そこで特殊な有機繊維を使うことでモルタルとの付着を強めて繊維が抜けないようにすることによって、結果としてこのようにひずみ硬化型になって大きく変形するというような材料です。

② 超高強度繊維補強コンクリート サクセム (SUQCEM) — エトリンガイト生成系 UFC —



次に、超高強度繊維補強コンクリート (UFC) はいくつかの種類があるのですが、その中でエトリンガイト系の UFC について紹介させていただきます。この材料は普通のコンクリートに比べて非常に圧縮強度が大きいということと、引張強度も強いです。

サクセムの耐久性

中性化、凍害、塩害、アル骨など: **照査不要**

高強度コンと比較して

- ・ 透気係数: 1/1000
- ・ 透水係数: 1/100万
- ・ 塩化物イオン拡散係数: 1/100

→ 設計耐用期間は100年以上

	サクセム	高強度コンクリート
圧縮強度	180N/mm ²	80N/mm ²
水結合材比	0.15	0.3
透気係数	4.5 × 10 ⁻²⁰ m ²	1.0 × 10 ⁻¹⁷ m ²
透水係数	4 × 10 ⁻¹⁷ cm/s 程度	1.0 × 10 ⁻¹¹ cm/s
塩化物イオンの拡散係数	0.0017 cm ² /年	0.14cm ² /年
空隙量	3~4vol.%程度	10vol.%程度



実際には耐久性も非常に高く、ほとんど照査しなくて良い、凍結融解抵抗性についても 4,000 サイクルから 5,000 サイクルでも全く劣化しないというような材料です。この材料は、例えば鉄筋を入れないで橋が造れるとか、かなり高強度で造れるのですが、実際には養生をしっかりとしないといけないです。最近は現場でも打てるこういう材料を開発しております。

次に、超高耐久コンクリートは、炭酸化することによってコンクリートを高耐久化するというような材料なのですが、実際には放射性廃棄物を1万年とか、万年単位でコンクリートが劣化しないものが作れないかということで開発したものです。

実際は中性化と同じ現象ですが、炭酸化することによって緻密化することを利用します。炭酸化してより緻密になる材料を入れることによって表面部分を非常に緻密化させて、高耐久化した材料です。

今紹介した高性能なコンクリートに使用している材料は全て高性能なものであり、メーカーさんと色々やらせて頂いているのですが、実際は大体3つとも20万円/m³くらいします。コンクリート1万円/m³くらいですので、20倍ですごく高いじゃないか、と思われるかもしれませんが、コンクリート10円/L、5円/kg。こういう材料は200円/Lになります。使用している材料を分解していくと絶対そういうお金になってしまう。1番の問題は、良いものだけれども、結局コンクリートの市場に対してコスト的に合わないということで、その先に中々行けないということが、我々が材料開発をするときに悩んでいることです。

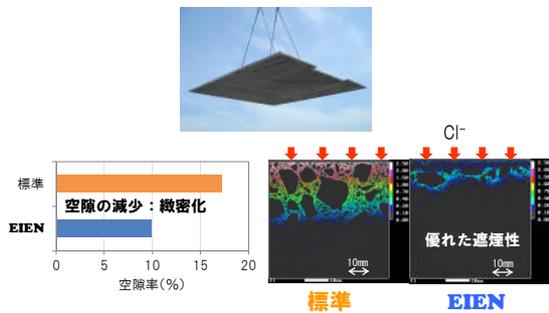
次は表面含浸材ですが、どういうものかと言いますと、表面に塗って撥水層を作るものです。一般に建築で良く使われていたのですが、こういうシラン系のものというのはコンクリートのアルカリによって加水分解してしまっ、撥水機能がすぐに無くなってしま。それに対して、紹介する表面含浸材はドイツの技術を入れたのですが、非常に分子構造が複雑で、アルカリで加水分解しない。実際には40年くらい保つというものを日本

③ 超高耐久コンクリートEIEN®

炭酸化反応を用いた
高耐久コンクリートパネル

EIEN®の概要

炭酸化反応を応用して表層を緻密にした、物質遮断性に優れたコンクリートパネル



EIEN® 適用実績



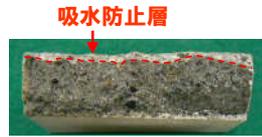
④ シラン・シロキサン系表面含浸材 —マジカルリペラー—

マジカルリペラーとは？

コンクリート表面に吸水防止層を形成し、
水分や塩分の浸入を防止する材料



(表面撥水状況)



吸水防止層

(吸水防止層の形成)

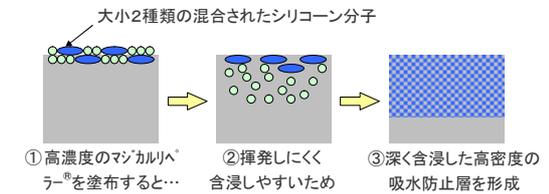


塩分浸透抑制・耐凍害性向上などに有効

マジカルリペラーの特長

「高い含浸性」、「優れた遮水性」、「長期間にわたる効果の持続性」を実現

- ・アルカリに対する耐久性が高い分子構造を選定
- ・単分子のシランと、重合体のシロキサン[®]の2種類を使用
- ・シラン・シロキサン濃度が80%以上



の規格に使えるように改良したものがこの材料です。この材料自体も実際には高く、1,000円/m²くらいです。ただし、m³ではなくてm²にすることで全体としては安くなり、非常に市場性がある材料となっており、現在色々な所で使われています。

最後に、2つ最近研究開発されてきている材料についてお話しさせていただきます。

最近の研究開発から (表層品質に着目して)

- ①ブリーディング抑制型AE減水剤
- ②熱可塑性樹脂シートを用いた
コンクリート表層品質向上技術

①ブリーディング抑制型AE減水剤

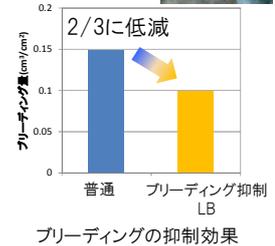
ブリーディング抑制型AE減水剤 (LB)



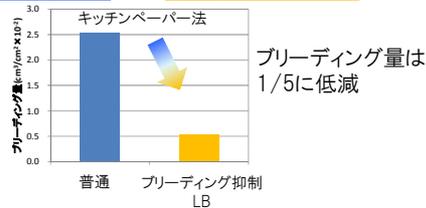
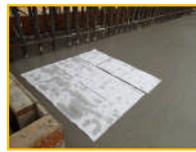
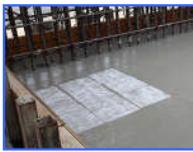
室内試験



- ・JIS規格を取得済み
- ・1液型
- ・(株)フローリックとの共同開発
- ・コンクリートのコストアップ 500~1000円/m³
- ・コンクリート製造、施工 (運搬、圧送、打込み) に大きな影響なし



ブリーディング抑制型AE減水剤 適用実績



ブリーディング抑制型AE減水剤 適用実績

硬化性状 表面気泡が減少する傾向
表面気泡 特に天端近傍の表面気泡が減少



普通



ブリーディング抑制 LB

これはブリーディング抑制型 AE 減水剤というものです。これは何かと言いますと、普通配合を変えると非常に大変なものです、JIS 規格の普通の AE 減水剤を取得し、AE 減水剤を替えるだけでブリーディングを抑制できるようにしたものです。

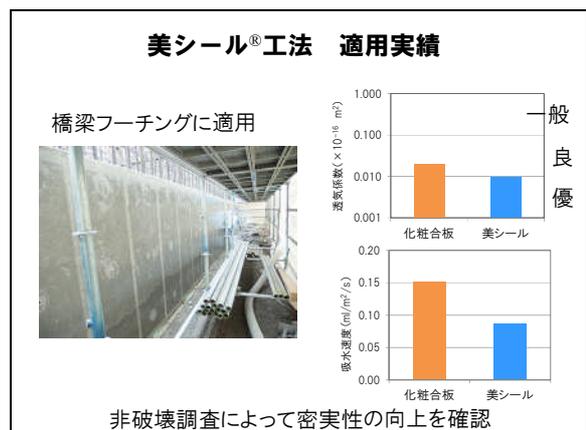
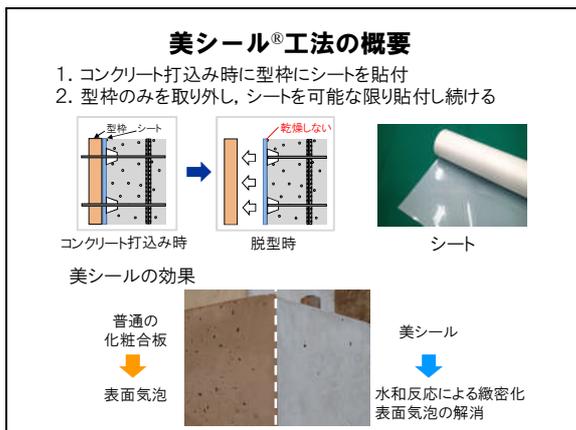
冬でかつセメント量が少ないような場合、また、低熱セメントを使う場合、ブリーディングが多量に出てしまう、それを混和剤だけで抑制する、そういった材料です。

実際これを見て頂ければ分かりますが、これは打設実験で、左と右でキッチンペーパーを置いているのですが、明らかに違う。何が問題、何が有効かという、どうしてもブリーディングが出ますと上の方に表面気泡や砂すじが出てしまうのですが、ブリーディングを抑制することによって、表面の品質を上げることができる、そのような技術です。

最後は、シートを使ってコンクリートを養生するという工法です。これは元から型枠にこのシートを貼っておいて、型枠を脱型したときにシートをコンクリート表面側に残すという方法です。普通は、長期養生するときに、型枠を脱型してから次に養生に入るまでに半日から1日くらいかかってしまい、湯気が出たりして大きく水分を損失するのですが、このシートは貼りっぱなしなので、

そういうことは起こらないということと、そのシートの効果で表面気泡が少なくなる、そういうような

②熱可塑性樹脂シートを用いた コンクリート表層品質向上技術 (美シール®工法)



材料です。

このシートは貼りっぱなしにできるので、竣工まで半年から1年くらいそのままに置いておくことによって、長期養生ができるということです。水中養生とこの養生は違うと良く言われるのですが、こういう土木のマスキングコンクリートを打つと、水セメント比を考えて頂くと分かると思いますが、非常に多くの自由水をコンクリートの中に含み、その場で結露するくらい持っていますので、実験データでは水中養生とほぼ同じような効果があることを確認しております。

以上、課題としましては、先ほどお話ししましたように、どうしてもコンクリート自体がもともと安いので、ちょっとでも付加価値を付けると非常に高くなってしまいます。特に化粧品などの50gで3,000円というような世界と、コンクリートの1Lで10円という世界ではかなり開発するに当たって実用化に結びつかないのかな、ということ。もう1つは、今日はあまりお話しできなかったのですが、リニューアルを考えたときに、どうしても既設のコンクリートと新設のもの、未知のものや色々変化するものと接着させないといけないとなったとき、それをきっちりと接着させるという技術がなかなかないのかな、ということで、その辺りが課題かと思えます。

以上です。ご清聴ありがとうございました。

研究開発の課題点

- ・コストを上げることなくコンクリートの性能や機能を向上させることが困難
- ・リニューアルニーズの増加
⇒補修の際の既設と新設の界面の恒久的な一体化が困難

ご清聴ありがとうございました

【モデレーター：西崎首席研究員】

坂田様、ありがとうございました。

それでは続きまして、土谷様よりお願いいたします。

【パネリスト：NIMS 土谷浩一氏】

物材機構の土谷でございます。本日は iMaRRC の設立、おめでとうございます。

老朽化しているインフラですけれども、その維持管理が非常に大きな問題になっているわけですが、そのマネジメントはこういう概念図で表されます。必要なのはモニタリングや点検、診断する技術、それから補修・補強、長寿命化、良いものを造る、それからもう1つ大事なものは損傷・劣化と言われるものはどのように起こるか、時間依存と書いてありますが空間にも依存する非常に複雑な出来事です。NIMS というのは唯一の物質・材料の研究に特化したいわゆる国研なわけですが、正直、土木分野はそれほど向き合ってきたという一種の反省的な気持ちがございます。我々はこういった話題、東日本大震災というものもありましたが、材料研究者としてこういった問題にどういった貢献ができるかを考えてきました。

とは言いつつも、これに関連した仕事は色々やって来たのです。NIMS は元もと金属材料技術研究所、それから無機材質研究所の2つが合併して2001年からNIMSになったわけですが、その頃に超鉄鋼プロジェクトという非常に大きなプロジェクトがありました。これは1997年から2005年と8年くらいありましたが、企業からも非常に多くの研究員を受け入れまして、今でもNIMSの研究員になられていて構造材料の研究を牽引しているわけです。

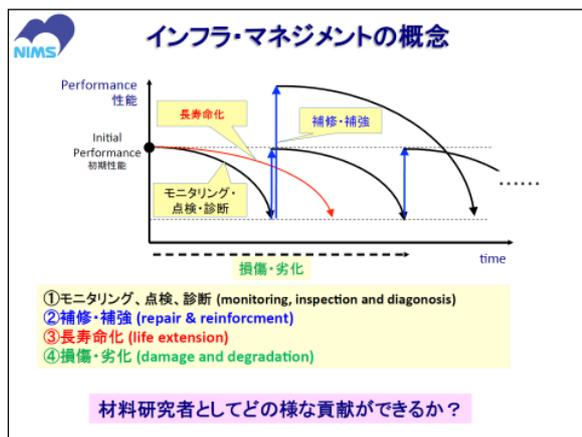
この中でいくつかの素材のシーズができてきまして、シーズ0からスタートした状態ですが、こういった高強度の鉄鋼材料、それから耐候性鋼、こういった材料シーズ・素材以外にも、「材料技術」と私は呼んでおりますけれども、溶接技術、それから評価、腐食の評価など、こういったものも同時に開発してきたわけです。

2015年6月11日

NIMS

インフラ構造物のための材料技術

(研) 物質・材料研究機構
元素戦略材料センター
土谷浩一



NIMS

超鉄鋼プロジェクト (1997~2005)

安全・安心社会のための寿命2倍・強度2倍の鉄鋼材料開発
“創製-構造化-評価”の連携(スパイラル・ダイナミズム)

第1期(1997~2001)
• NIMSに資金・人材を集中した産学連携プロジェクト
• 鉄鋼・重工企業から約30名の研究員を受け入れ。
第2期(2002~2005)
• 構造化技術、第1期開発素材の実用化

材料技術(Materials Technology)
構造化技術
✓周波数可変レーザー溶接 (Laser welding)
✓クリーンMIG溶接 (Clean MIG welding)
評価解析技術
✓ギガサイクル疲労試験(Giga-cycle fatigue)
✓ナノスケール分析TEM (Analytical TEM)
✓3Dアトムプローブ (3DAP)
✓ナノインデンテーション法 (nanoindentation)
✓腐食評価 (corrosion monitoring)

素材 (Materials)
✓ 微細粒800MPa級フェライト系高強度鋼 (ultrafine-grained 800 MPa class ferritic steels)
✓ 1800MPa級マルテンサイト鋼 (1800MPa-class martensitic steels)
✓ 窒化物・炭化物粒子による遅れ破壊抑制、疲労破壊強度向上 (Suppression of delayed fracture and improved fatigue strength by nitride, carbide particles)
✓ 650°C級超々臨界発電プラント用フェライト系耐熱鋼 (650°C ferritic heat resistant steels)
✓ 高窒素オーステナイトステンレス鋼 (high nitrogen austenitic stainless steels)
✓ Al-Si添加耐錆性鋼 (Al-Si weathering steels)

それからこれは、東日本大震災の後に急遽国研として、今年が最終年度になりますけれども、インフラを何とかしなければならぬとして始まったプロジェクトです。溶接の補修方法、それから非常に強度が高くて壊れにくいボルト材料、水素脆性への耐久性が非常に高いもの、それから耐候性鋼や長周期振動の振動を吸収するようなダンパーの材料などを開発するプロジェクトです。その成果をご紹介します。

これは溶接補修用の材料ですけれども、こういった特殊な同軸の溶接ワイヤーを使います。普通は酸素や炭酸ガスを入れるのですが、これを使いますと、大気中でアルゴンガスを使えば、それら(酸素や炭酸ガス)を使わないで溶接ができます。普通の溶接棒を使いますとこのように非常にアークが不安定になりますが、多層の溶接棒を使いますと非常に安定して溶接ができてまっすぐ仕上がる、そういう技術です。

現在、これを鋼橋のクラックの補修に使うことなどを考えています。通常、鋼橋のクラック補修にはあて板をするのですが、これは非常に穴をたくさん開けて作業をするわけですから時間がかかるわけですね。それに対してこういった溶接を使って1mくらいの亀裂をそのまま補修できるという技術の開発をしています。

もう1つの利点は、この材料を使うと溶接部に圧縮の残留応力を入れることができます。普通は引張の残留応力が入りまして、疲労時間が非常に低下しますが、この技術を使いますと疲労時間の長い溶接ができるという利点があります。

それから、制震材料もやっております、つい最近ですが、鉄系の形状記憶合金ですけれども、元もと変形のエネルギーを吸収する能力が高いですが、ある特定の条件で非常に疲労寿命が長くな

NIMS 社会インフラ復旧、再生に向けた構造材料技術の開発

NIMSの構造材料に関する技術シーズを活用して、災害発生時において建築物や構造物の被害を軽減するための補修・補強・寿命延長技術を開発すると共に、耐震性・耐火性の強化に資する構造材料技術を開発する。平成24年度より、震災対応プロジェクトとしてスタート。

- 溶接補修 (Repair technology)**
橋梁等の構造物において、補修工期を1/2化
Reduce repair work time in bridges and other structures by one-half.
- 超高力ボルト (U-high strength bolts)**
1700MPa級超高力ボルトにおいて、破断限界変形量を2倍化
Double the limit deformation capacity for fracture of 1700MPa ultra-high strength bolts.
- 耐候性鋼、制震ダンパー (Weathering steels and seismic damper materials)**
安価な金属元素を用いて、構造部材の寿命を2倍化
Double the life of structural materials using low-cost metal elements.
- 制震ダンパー**
対長周期地震動
- 高効率・高品質接合**
- 新溶接材料**
Inner(Inconel)
Outer hoop(Steel)
1.2mm
- 同軸複層ワイヤ**
- 超高力ボルト**
ボルト数削減
- ユビキタス型耐候性鋼**
薄板化による軽量化

「災害に強い国づくりの実現」に貢献

NIMS 高効率・高品質MIG溶接のための新しい溶接材料の開発

MIG: 消耗電極
溶接中の液滴落下を安定させるために、シールドガスは通常O₂とCO₂が含まれる。その結果溶接部に酸化物が導入され、接合部の特性が低下する。

同軸多層溶接ワイヤー
Outer hoop (Steel)
Inner (Inconel)
1.2 mm

Conventional	10SEC	5644
START 30	▶	9000FPS
Developed	14SEC	1625
START 30	▶	9000FPS

NIMS MIG溶接による鋼橋のクラック補修

現状: あて板補修
施工に長時間を有する

橋桁の亀裂(約1m)

その場溶接補修!
ビード

溶接補修の課題

- ✓ 溶接部の引張り残留応力により溶接部に亀裂が生じやすい。
- ✓ アークを安定化するために必要な酸素と2酸化炭素の反応により溶接部に酸化物粒子が入り、靱性を低下させる。

解決法

- 低温変態溶接材料(LTTW)
- 同軸型溶接ワイヤー

NIMS 補修溶接の結果

試作した補修用溶接ワイヤ (同軸複層ワイヤ型のLTT溶接材料)

溶接ビード

① 止端部からの割れ
② 溶接部の割れ

A) 母材のV開先補修溶接を実施

B) 溶接ビードにV開先を加工した後に補修溶接を実施

補修溶接で問題となるビード止端部の残留応力が軽減できることを確認し、開発ワイヤと補修溶接の有効性を実証した

ることが分かりまして、名古屋駅前に建築中の JP タワーの制震ダンパーに採用されています。このようなダンパーが16基使われています。

去年の10月から始まりました、皆さんもご存じと思いますが、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）という非常に大きな国家プロジェクトが始まりました。我々は藤野プログラムディレクターの下、インフラ維持管理・更新・マネジメント技術という課題が採択されまして、構造材料の研究拠点を構築しまして、このインフラ維持管理の問題に取り組むというプロジェクトになっています。

これは我々と京都大学の宮川先生、それから東京工大の坂井先生も参画して頂きました。先ほどあらゆる材料をやっていると言いましたが、セメントは実際はやっていなかったわけで、土木材料のご専門の先生方にご指導頂きながら、こういった研究を行っています。

色々やっておりますが、この目的は大きく2つあります。

1つはコンクリート構造物の劣化機構の解明しようという技術です。こういったことを明らかにすることで、劣化予測のモデルを高精度にすることで、維持管理費用を削減しようという研究を行っています。

もう1つは、これからいくつかお話しますが、耐食鉄筋、補修材料、歪み可視化シート、または非破壊といったモニタリングに使えるような、または更新などに使えるような新しい材料を開発する、そういうテーマを行っております。

これはその中の1つです。コンクリートの内部の環境をモニターするシステムの構築です。これは電気化学的な測定ですが、非常に細い直径3mm くらいのセンサーをコンクリートの中に入れて、pH や塩化物イオン濃度を測定する方法です。これは非常に低電力ですので、太陽電池で駆動することができますし、無線 LAN を使えば遠隔モニタリングもできます。

SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術

目的	主要研究内容	出口戦略	信頼性向上・普及促進への貢献
2020年度を目標に、国内において最先端・省エネ・省材・省コストのインフラの構築を推進し、ICT+Roboticsによる予防保全を実現。	<ul style="list-style-type: none"> ① 劣化モニタリング・診断技術 ② 補修材料・劣化機構・補修・補強技術 ③ 劣化予測技術 ④ 劣化予測技術の活用・普及促進 ⑤ IoT+ロボティクス技術 	<ul style="list-style-type: none"> ① 劣化予測技術の活用・普及促進 ② 劣化予測技術の活用・普及促進 ③ 劣化予測技術の活用・普及促進 ④ 劣化予測技術の活用・普及促進 ⑤ 劣化予測技術の活用・普及促進 	<ul style="list-style-type: none"> ① 劣化予測技術の活用・普及促進 ② 劣化予測技術の活用・普及促進 ③ 劣化予測技術の活用・普及促進 ④ 劣化予測技術の活用・普及促進 ⑤ 劣化予測技術の活用・普及促進

藤野 陽三
NIMS 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 劣化予測技術開発プロジェクトディレクター

http://sip-cao.jp/subject/subject_07.html

本研究開発課題の目的

ナノ～マイクロの眼を活用したコンクリート構造物劣化機構の解明

- ✓ 環境因子と鉄筋腐食生成物、ひび割れ発生、進展の相関解明
- ✓ 腐食ひび割れ進展解析、構造物劣化予測モデルの高精度化

健全度 vs 時間

現状の劣化予測 vs 高精度化

- ✓ 劣化予測の高精度化により、維持管理費用を削減
- ✓ 簡便な劣化判定

耐食鉄筋、補修材料、歪み可視化シート、モアレ縞法、非破壊検査などの新材料技術開発

- ✓ TOPAS参画機関等により“使える技術”と磨きあげ
→土木研、関連学会等で標準化・規格化、社会実装、海外展開へ

コンクリート内部環境モニタリングシステム

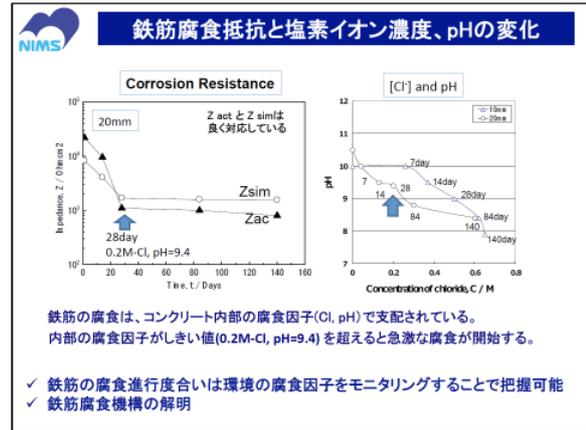
マイクロ電極をコンクリート内部に挿入し、インピーダンス法で内部の塩分とpHを連続的に測定

Immersion in 0.5 M NaCl (pH=4.0) solution

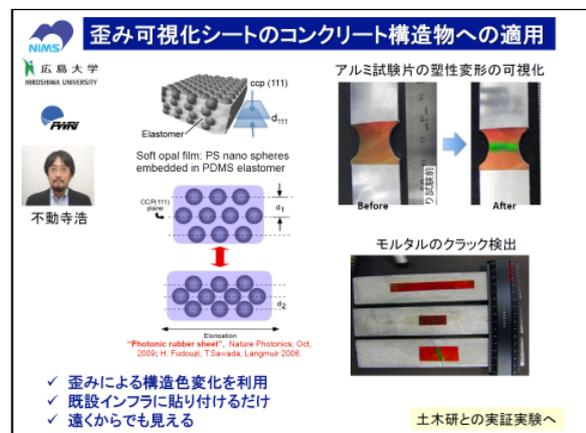
塩分センサー (Ag/AgCl) / pHセンサー (W/WOX)

- ✓ マイクロプローブ (0.3mmφ) で既設インフラにも適用可
- ✓ 太陽電池で駆動可能
- ✓ WiFiで遠隔モニタリング可

この方法を使いまして、例えばこれは1つの試行実験ですけれども、塩化物濃度が0.2molでpHが9.4のときに、急速に鉄筋の腐食が始まるということを見いだしている例です。これを使いまして、コンクリート内部の鉄筋の腐食の進行度合いをこういった環境因子のモニタリングで把握しようとしている実験です。それから、これを使いまして、鉄筋の腐食の機構が分かるわけですから、モデルの高精度化や新しい素材の開発にも繋がると考えています。

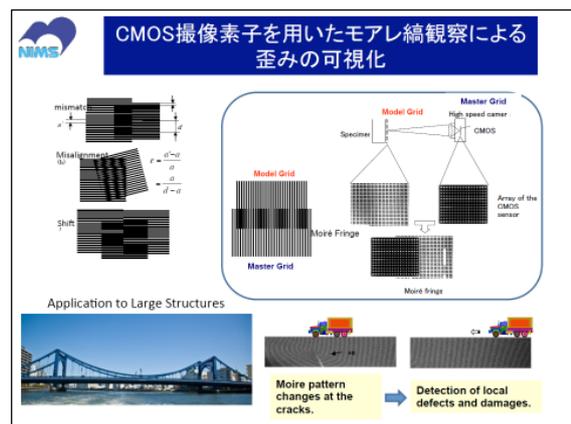


これは少し変わった研究ですが、歪み可視化シートというもので、変形した部分の色が変わるものです。これはフォトニック結晶という材料ですけれども、これをモルタルの表面に貼り付けますと、クラックができて変形した部分の色が変わります。一目でどこにクラックがあるか分かるわけですね。もう1つはメモリー機能がありまして、一度閉じたクラックでも開いたところ分かる機能がありますから、例えばある程度損傷のあった

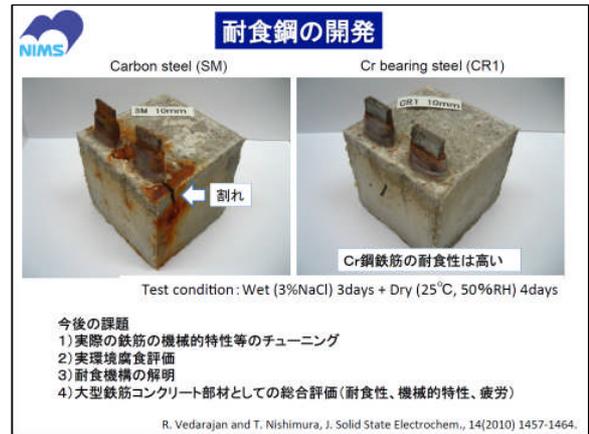


コンクリート構造物、例えば地震があつてクラックが入ったときに、どこにそれがあるかが一目瞭然で分かるというフィルムです。

これはモアレ縞という方法を使って構造物の変形・歪みを遠くからでも可視化されるという方法です。これは、2つの縞があり、これらの向きが変わったりズレが生じた場合、こういったモアレ縞が出るわけです。これを解析しますと、どのような歪みが入っているかが分かるわけです。これはグリッドが2つ必要ですが、1つはCCDやビデオカメラなどをマスターグリッドとして設置する。構造物にこういった膜またはシールを貼ることによって、構造物の変形がカメラで記録できる、ビデオを使えば動的に歪みが分かる、そういう技術です。



最後になりますが、耐食鋼の開発ということで、簡単に言うとクロム鋼ですが、左は普通の鉄筋材質、右が新しい材料で、組成を制御しますと非常に錆びづらくてコンクリートにひび割れが入ることがない、といった耐食鋼の開発も行っています。これは土木研さんとの連携で、色々なところで暴露試験を行っておりまして、それから耐食鋼の解明、これから実際のコンクリート部材に適用して耐食性や耐疲労特性を評価するところです。



この材料で異形鉄筋も製作しました。これで機械的特性のチューニングや模擬コンクリート部材への適用、評価というのも SIP のプロジェクトの一環として行っているところです。

以上です。

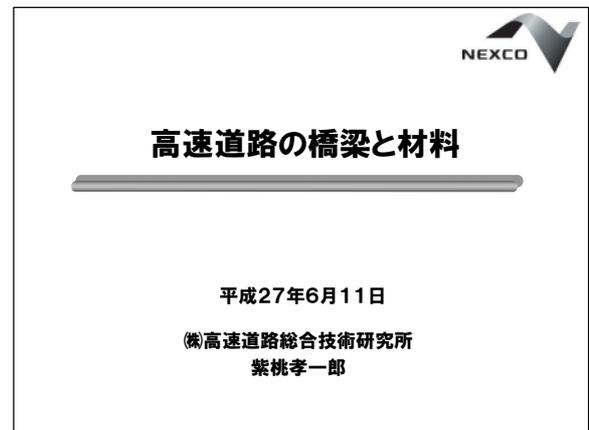
【モデレーター：西崎上席研究員】

ありがとうございました。

それでは続きまして、紫桃様からお願いいたします。

【パネリスト：NEXCO 総研 紫桃孝一郎氏】

続きまして、私、高速道路総合技術研究所の紫桃と申します。「高速道路の橋梁と材料」ということで、ユーザー側として色々な材料を使って、高速道路の建設あるいは管理をしています。そこからどのようなことが問題になっているかということをご簡単に紹介させて頂きたいと思っております。



最初は高速道路、こういった橋ですね、どのような材料を使っているかということ、皆さん、あたりまえですが、鋼材とかコンクリートとかが主材料です。ほとんど、土木技術者が多いですけども、鋼材、コンクリートの知識はありますが、例えば、ゴムとか塗料とか、舗装はアスファルトの知識も多いですけども、それ以外の色々な材料に、たくさん先生方からご紹介がありました。混和材料も使っているかなという感じがします。

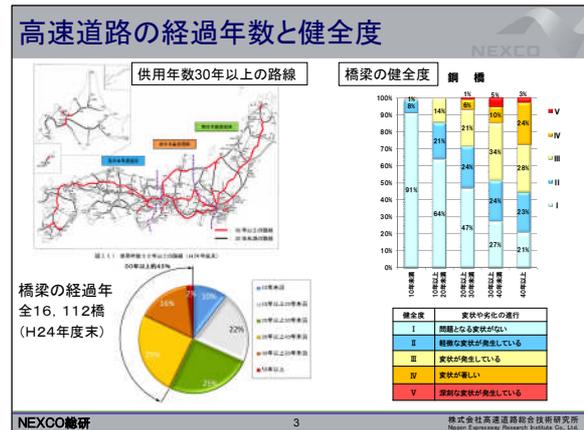


建設もたくさんやっておりますが、皆さんご存じのとおり民営化されて、昔は道路公団と言っており

ましたけれども、ほとんど管理の仕事がメインとなってきております。

これは補修しているところですが、たくさん道路が傷んできていますが、50年以上使っているところな劣化をしているということで、現在は管理が中心となっています。こういった断面修復ではポリマーとか、色々な材料、実は私良く分かっていなくて、こういう材料が良いのだと言って使っている面がありますが、先ほど、ご紹介がありました繊維での補強というような、色々な材料を確かに使っておりますが、中々良く分かっていなくて使っている面があるかなという感じがいたします。

次に高速道路の概況を簡単に説明いたします。
 全国の高速道路は、今は9,000kmくらいありますかね、のべ延長、有料道路なども含めてあります。地図の赤で塗ったところが、東名や名神などの主要幹線になります。30年以上経っています。名神に至っては50年くらい経っています。橋梁は、30年以上経っている橋が4割以上です。右のグラフは、橋梁の健全度ということで、高速道路では5年に1回点検しております、どの程度健全性があるか、I～Vで整理しています。Vが一番悪いですが、橋が落ちるというわけではなく、かなり手を入れないといかないなという判断になっています。Iは全然問題無いという判断ですが、10年ぐらいですと全然問題無いですが、30年くらい経つとぽつぽつと赤いものが出てくる。40年経つと2割から3割。これは鋼橋の例ですが、コンクリートでも同じような感じで、大分手を入れないといけないという実態があります。



全性があるか、I～Vで整理しています。Vが一番悪いですが、橋が落ちるというわけではなく、かなり手を入れないといかないなという判断になっています。Iは全然問題無いという判断ですが、10年ぐらいですと全然問題無いですが、30年くらい経つとぽつぽつと赤いものが出てくる。40年経つと2割から3割。これは鋼橋の例ですが、コンクリートでも同じような感じで、大分手を入れないといけないという実態があります。

ご存じの方も多いと思いますが、高速道路の大規模更新、大規模修繕、これは首都高速道路会社さんも阪神高速道路会社さんもありますし、NEXCOグループも同じような動きをしております、今までの事後保全、壊れたところを直します、というものでは追いつかないということで、大規模に直させて下さいということを検討しまして、今年の3月に国の認可を頂きまして、特定更新工事として事業をスタートしております。



これは橋梁の部分だけ抜いておりますけれども、1番大きなお金がかかっているのが床版取替、橋梁の中で1番痛むのは活荷重や残念な話ですが凍結防止剤、雪の降るところは雪を融かすために塩をたくさん撒いていますが、この塩による塩害、そういったもので非常に床版が痛んでおります。総延長で200km余りについてはもう使えないため取り替えましょう、ということで、その事業費が1兆6千億円。それ以外にも色々桁や床版防水をどうしましょう、これは予防保全的なものですが、トンネルや土工部分も含めまして3兆円ほどの事業費を頂いて、これから十数年かけて直していこうというものがス

ターゲットしております。

スライドの下に床版の典型的な絵がありますが、塩害等で腐食しておりまして、鉄筋がなくなっていますが、今は塩などで上面からやられ、耐えきれなくて交換するということになってきています。こういった工事も夜間しかできないので、2車線や4車線と上下線が分かれていれば良いのですが、通行止めをして交換しているというのを始めております。

補修・補強と課題と書いております。高速道路はそれほど難しい複雑な構造ではありません。鋼材は普通の490ですし、コンクリートは24N/mm²のコンクリートがあれば基本的なものは造ってあるのですが、直すに当たっては供用中の構造物を直さなければならないということで、交通規制が難しい。実は高速道路では何が一番苦労するかと言うと、交通規制ができるかどうか、そういったところで技術力・エネルギーを使っています。そ

れが技術力か難しいところですけども。あと、技術的には死荷重が増えたり振動下での工事だったり、上向き、狭い空間で工事をしなければならなかったり、こういった作業上の制約は多々あるところなんです。それから、劣化も多様化しておりますが、基本的には教科書的に鋼部材では疲労や腐食、コンクリートでは塩害や、中性化はあまり問題にはなっていませんが、アルカリシリカ反応など、こういった教科書的な、と言っては変ですけども、こういった劣化が生じています。

そういった制約に見合った補修・補強工法などは、これから我々は欲しいと言うことで、そういったところに新材料が使われていくのかなと、必ずしも適切な例とは限りませんが、いくつか例を紹介したいと思います。

これは先ほどの丸山先生もご紹介がありました(基調講演)、耐震補強の炭素繊維ですが、大きな足場が必要と言うことで、管理の現場では、高いけれどもこれしか使えないと言うことで、しょうがない、やろうとなっています。特に制約がなければコンクリートの増し厚が一般に行われていると思います。ただし、炭素繊維は非常に優秀な材料ですので、最近ではこういった鋼橋、お恥ずかしい写真ですけども腐食が進んで向こうが見えるくらいにまでなってしまった、こういった橋もまれにあります。これは既に直してありますが、一般的には鋼ですので板を当ててボルトで留めて直すということをやっているのですが、最近こういったところにも炭素繊維、これは実験ですので研究室内の写真ですけども、炭素繊維で同じような耐力を確保している。弾性係数や伸び性能などが違いますので、一工夫はしていますけれども、このような使い方が、

高速道路橋の補修・補強と課題

- 供用中の構造物への対策
 - 交通規制の困難性(長期の通行止めは不可)
 - 死荷重増の影響
 - 活荷重など振動下での工事
 - 狭小な施工空間、上向き施工など
- 劣化の多様性
 - 鋼部材: 疲労、腐食、変形等、コンクリート部材: 塩害、中性化、ASR、凍害等
- 各種制約に見合った補修・補強工法

⇕

新材料を用いた補修・補強工法の取組み

NEXCO総研 5 株式会社高速道路総合技術研究所
Nippon Expressway Research Institute Co., Ltd.

補修・補強での新材料活用事例1

CFRPを用いた補修・補強例

- 軽量、高強度、高弾性の特徴
- 耐震補強などコンクリート部材の補強
- 鋼部材への適用拡大



RC橋脚の耐震補強



鋼桁端部の腐食補修

NEXCO総研 6 株式会社高速道路総合技術研究所
Nippon Expressway Research Institute Co., Ltd.

既に規準化もしております、1つの採用例であります。

事例2と書いてありますが、FRPの材料ですね。これは橋梁の検査路ということで、発端は私も高速道路の事故だったのですが、点検をしっかりとするというので、検査路をきちんと整備しましょう、と。実は検査路自体もこのように腐食していきまして、怖くて点検できないというような状況もあります。そういった所に機械を持って行くななどを考えますと、こういったFRP製の軽いものを使っているという、最近使ってきているのです。

新材料の課題、展望と書いてありますが、どんなことを考えれば良いかということで、先ほど言ったコンクリートは24N/mm²とか、鉄は普通の鋼材、JISの鋼材を使っていますが、こういったものと上手く物性が合うかどうか、壊れ方、粘りがあるかどうか、そういったものがあるだろうと思います。それから、一体化をしなければならない。全部壊して造るのであれば問題無いですが、あるところはそのまま使うとか、既設構造物の下部処理とか、品質管理、耐久性、コスト、土木技術者の新材料への対応があります。土木技術者は鉄とコンクリート以外の教育をあまり受けていないということがあります。

性能規定型基準とありますが、コンクリートや鉄に限らず、色々な性能のあるものを使いましょうという事例を最後にご紹介したいと思います。

これは、高性能床版防水ということで、NEXCOグループが独自の基準を持っています。当然、防水ですから要求するのは防水性や遮塩性というのですが、防水材を挟んだために舗装や床版と剥がれてはいけない。それをどうすれば良いかということで、負荷をかけて舗装荷重や温度変化、この負荷の後に防水などの性能があれば良いという基準になっています。色々な材料が使われてい

補修・補強での新材料活用事例2

FRP材料を用いた検査路

- 従来の鋼製検査路の劣化
 - 既設橋梁の検査路交換・増設での制約(架設、自重 他)
 - コスト増に対する検討
- ⇒ トラス桁形式GFRP検査路の検討



NEXCO総研

7

株式会社高速道路総合技術研究所
Nippon Expressway Research Institute Co., Ltd.

新材料の課題、展望

- **材料物性**
 - 強度、弾性係数、破壊形態、温度依存性
 - 鋼材、コンクリートとの物性の相違
- **既設部材との一体化**
 - 接着強度、下部処理、品質管理など
- **耐久性**
 - 設計耐用期間の設定
 - 使用期間中の負荷
- **コスト**
- **土木技術者の新材料への対応**
 - 鋼、コンクリート以外の材料に対する知識・経験
 - 材料特性を踏まえた使い方、品質管理、補修後の管理等

NEXCO総研

8

株式会社高速道路総合技術研究所
Nippon Expressway Research Institute Co., Ltd.

性能規定型基準と新材料

- **性能規定型基準と新材料の活用**
 - 要求性能を規定、設計耐用期間中性能を保持
 - 使用材料、構造など自由度の向上
- **要求性能と照査**
 - 耐荷性能や耐久性など要求性能の明確化
 - 性能を確認する適切な照査方法の設定
(試験、解析、みなし仕様?..)
 - 施工中、供用期間の各種作用や負荷の考慮
 - 性能照査方法と実構造物との整合

NEXCO総研

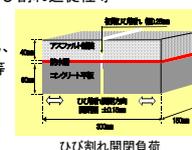
9

株式会社高速道路総合技術研究所
Nippon Expressway Research Institute Co., Ltd.

性能規定型基準の例1

NEXCO高性能床版防水基準

- **要求性能の例**
 - 防水性、遮塩性
 - 床版、舗装との接着性
 - 耐久性、(床版の)ひび割れ追従性等
- **性能照査方法**
 - 舗装荷重、温度変化、
 - ひび割れ開閉負荷等
 - 防水性、接着性
 - 実物大試験で確認



各種高性能床版防水の製品

塗膜(ウレタン)系、Asシート系、メタクリル樹脂等

塗膜系反応樹脂型

NEXCO総研

10

株式会社高速道路総合技術研究所
Nippon Expressway Research Institute Co., Ltd.

る中で、ウレタン系やアスファルトシート系、こういったものが現在、高速道路の床版防水として使われています。

もう1つ最後に、これは伸縮装置です。橋本体は道路橋示方書なりの極めて高度な基準の体系が成されているのですが、伸縮装置はそれに比べればやや緻密ではないと思います。色々な材料（製品）が出ています。我々は「製品ジョイント」と呼んでいますが、中々性能が分からないということで、最近数年、4～5年前ですけれども、NEXCOで規定を作っています。耐荷性や変形追従性など、あるいは防水性や耐久性、照査については荷重に対する照査、疲労に対する照査、実際に水を張って水が漏らないかどうかを確認しようという、あるいは伸縮させて壊れないか、というこういった実験等で合格した製品を製品ジョイントとして高速道路に使おうということです。実際に、こういったアルミ合金製や色々な形の伸縮装置を使っています。こういうことで全てが解決するとは思いませんが、こういったことをしながら私ども日々道路管理をしているということで、発表いたしました。以上でございます。

【モデレーター：西崎上席研究員】

紫桃様、ありがとうございます。

それでは続きまして、渡辺グループ長から話題提供をお願いいたします。

【パネリスト：渡辺材料資源研究グループ長】

それでは、「土木構造物の耐久性向上に向けたこれまでの取り組みと今後の課題」ということで、話題提供をさせていただきます。

これまで土木構造物の耐久性に関して、これまでに土木研究所で行ってきた研究は非常に多岐に渡っております。当然、これだけではないわけですが、敢えて私の明るいところで行きますと、これまで土研でやってきた代表的な研究事例としましては、コンクリート構造物の塩害、アルカリ骨材反応による早期劣化を如何に食い止めるかという問題です。例えば、そういう研究成果によりまして、例えば塩害対策ですと、初期塩化物イオン量の総量規制や水セ

性能規定形基準の例2

NEXCO伸縮装置(製品ジョイント)基準

- 多種多様(材料・構造)な製品ジョイント ⇒ 仕様規定は困難



- 要求性能**
 - 耐荷性、変形追従性、走行性、防水性…
 - 耐久性(使用期間中の交通荷重、環境等)…
- 照査方法**
 - 耐荷力に対する応力度照査等
 - 防水性に対する実物大試験等

性能確認した多様な製品



NEXCO総研 11 株式会社高速道路総合技術研究所
Road Engineering Research Institute Co., Ltd.

土木構造物の耐久性向上 に向けたこれまでの取り組みと 今後の課題

先端材料資源研究センター (IMARRC)
材料資源研究グループ
渡辺博志



土木構造物の耐久性に関する代表的な研究事例

- コンクリート構造物の塩害、アルカリ骨材反応による早期劣化の問題
 - 塩害対策
 - 初期塩分量, W/C, かぶり確保
 - A S R抑制対策
 - 混和材 (B種), アルカリ総量, 骨材判定
- 出来上がり検査
 - 構造物の検査 (テストハンマー, かぶり検査等)
- FRPの実用化、電気防食、等



メント比の規定、あるいはかぶりの確保というのを社会に出したというような状況です。或いは、アルカリシリカ反応の抑制対策としまして、例えば高炉スラグ微粉末等の混和材の使用、高炉セメントです、アルカリ総量規制、骨材の反応性の判定、JIS 或いはこういった所、構造物の出来上がりの検査、こういった検査技術を確実なものにして、これを現場に導入することによって出来上がり構造物の品質担保につなげている。先進的なものとしては、FRP といった材料の実用化、電気防食技術の導入と、こういったところをこれまで土木研究所でやってきました。

将来に向けてですが、耐久性の向上に資するような新しい材料、こういったものを効率的に実用化していくには何が重要なのかということで、結論としては、色々な機関が連携して研究を実施することが重要ということです。けれども、それぞれ少し気をつけなければならないことは、まずはスタートの時点で現場ニーズを明確に把握しておかないと、中々研究がぶれてしまうかなと思います。それからそれぞれ材料の開発にかけたとか、

現象の把握とか、原理の究明、こういったことがないと、やはり耐久性のメカニズムが分かっていないとどうしようもございませんので、非常に重要だと思います。後もう1つは、これは土研がしっかりとやらなければなりません、性能評価や検証方法、新しい技術を皆さんに安心して使って頂くには、土木研究所がきちんと性能規定の考えに基づきまして、検証方法を提供していかなければいけないと考えているところです。そういうわけで、性能規定の考え方の普及も重要だと考えています。

これは決して、今に始まったことではありませんが、土木試験所時代、昭和の初期ですが、土木試験所報告、当時は舗装やコンクリートの耐摩耗性の研究、如何に舗装用コンクリートの耐久性を検証してそれを良い舗装コンクリートに結びつけるかという研究を、実際にこのような大きな試験機を導入して検証試験をやって性能評価の問題点などを色々やっています。結局難しいところは、相対的評価はできるのですが、絶対的評価が中々難しい、ということが

が当時言われていたということです。それともう1つは、これは木の車輪に鉄板を貼り付けたものをぐるぐる回して摩耗を測って比較しているのですが、当時まだゴムタイヤを履いた車が日本ではそれほど走っていなかった。ただ、ヨーロッパを見ているといずれ日本もゴムタイヤを履いた車が増えるだろうと、そうしたときにこうした鉄輪を使って検証しても条件が厳しすぎた。土木構造物 100 年といった長期のオーダーで見ると、要求性能は時代と共に変わってしまう可能性があるということです。性能照査を突き詰めて行けば行くほど、実は性能そのものが変質してしまうとすり抜けることがあるわけです。

研究成果の効率的な実用化

- 連携して研究を実施することが重要
- 想定される役割
 - 材料開発の研究
 - 現象の把握, 原理の究明
 - **性能評価と検証方法**
 - **性能規定の考え方の普及**

← スタート時点で現場ニーズを明確に把握



材料の耐久性評価技術の研究 (舗装コンクリートの耐摩耗性)

- 例えば、舗装用コンクリートの摩耗抵抗性



昭和4年：土木試験所報告13号

直径約10mの円周路
木製車輪（鉄輪）ゴム車輪を走行
コンクリートの材料配合条件による
摩耗量の違いを評価

↓

摩耗作用が実際の路面よりも過酷
作用の大きさをいかにするかが課題
いわゆる促進試験であり絶対評価が困難
いずれ鉄輪はなくなるであろう
比較的摩耗の大きな骨材
摩耗を小さくする配合の工夫



性能のとらえ方は、まさに最初のニーズに敏感になっていかないといけない。検証技術に固執してしまうと中々本質が見えなくなるのではないかと考えています。

耐久性の評価技術では、長期的な暴露試験結果は信頼性が高いですけれども、時間がかかり過ぎます。そうしますと、なるべく迅速化した試験方法を整備して、そうすることによって材料開発の迅速化や性能の信頼性の向上にフィードバックしていく。こういった仕組みを更に加速していくことが今後必要かなと思います。それから、暴露試験で言いますと、こういう（沖縄県）非常に苛酷な環境にどうしてもすぐに出してしまうのですけれども、冒頭、丸山先生のお話にもありましたように、一方でリサイクルとかそういった材料を上手く使いこなそうと思えば、逆に緩やかな環境で、ということをもう少しはっきりとさせることで、実や要求性能はここまで

で良かったのだと。そういったことをやっていく上では厳しい所ばかりではなく、更に時間がかかる話ですが緩やかな所、そういう要求性能側のもう少し深い分析も土研が今後やっていかなければならないかなと思います。あと、ここには書かなかったのですが、今後増えていくであろうと思うのが、システム、材料管理の評価は良いのですが、色々な材料を組み合わせる、リダンダンシーを確保する、そういう場面が増えてくるのではないかと思いますけれども、そうしたときに、材料頼みの評価手法では限界がある、ということで、そうしたシステムとしてのとらえ方、ここが今後鍵になると思いますし、こうした技術を磨いていくことにより、日本でできあがった技術がより柔軟に海外へ適用出来るのではないかなと考えています。

以上、雑ぱくですけれども、当方の発表を終わります、どうもご清聴ありがとうございました。

【モデレーター：西崎上席研究員】

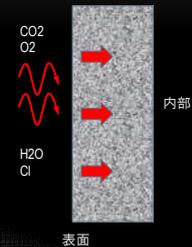
渡辺グループ長、ありがとうございました。

それでは次にディスカッションをしたいと思います。時間は5時25分までありますので、早速進めたいと思います。また、パネルディスカッションのためのアンケートを聴講者の皆様をお願いしておりましたが、多数のご協力を頂きましてありがとうございました。可能な範囲で使わせて頂いて、パネルディスカッションを進めさせていただきます。

色々な話題提供を頂きましたので、全体を整理させていただきます。まず、パネリストの皆様からご紹介頂いた新しい材料、先端的材料の開発の動向、様々なものを伺いました。また、新しい材料を使用する

最も困難な耐久性の検証

- 例えばコンクリートの緻密さ
- これまでは圧縮強度を用いた間接的な評価
- 圧縮強度が高ければ緻密であろう。
- 定量的な評価を可能とする指標
 - Ex. 拡散係数
- 実際には長期的な物性変化が？
透気係数の意味？
打ち込み、養生の影響？



耐久性の評価技術で重要なこと

- 長期的な暴露試験結果は信頼性が高い
- 時間がかかりすぎる
- 実施可能な評価試験法の考案
 - 評価の迅速化
 - 実現象の適切な再現
 - 要求性能の定量的表示
- 材料開発の迅速化
- 信頼性の向上



上での課題が示されたと思います。新しい材料と言っても、大きく分けると2通りあるかと思います。1つは主に新設構造物を目標としたもの、特にコンクリート関係に近いものをかなりご紹介頂きました。施工性の向上による高性能化ですとか、化学混和剤による高性能化、FRPの利用、高靱性セメント、超高強度セメントコンクリート、表面含浸材、表層品質の向上による高耐久化、耐食鋼とか、制震材料というのもありました。もう1つの系統の新しい材料、先端材料としましては、構造物の補修の話でございました。補修は非常に重要であることと、それに資する先端的、新しい材料ということで、CFRPを用いたコンクリートや鋼材の補強、FRP材料の検査路というのもありました。高品質溶接による補修、土谷様からはSIPのプロジェクトの中での劣化予測の高精度化ですとか、歪可視化シート、モアレ縞等、様々なものをご紹介頂きました。それから、それ以外のものとしまして、副産物や未利用資源の有効活用の必要性、というのも話題の中でご紹介頂いたと思います。それからもう1つは、新材料についての課題、材料物性の評価ですとか、一体化が中々難しいとか、耐久性の評価ですとか、コスト面の課題、基準の関係、技術者の新材料への対応、このようなものが出されたかと思います。

それでは、次にディスカッションですが、まずはパネリストの皆様から10分という短時間でお話し頂きましたので、何か言い足りないこととかですね、あるいは、他の方の話題について気付いた点とかですね、ご質問したい点とかございましたらお伺いしたいと思いますが、如何でしょうか？丸山先生、如何でしょうか？

【パネリスト：長岡技術科学大学 丸山久一名誉教授】

色々伺っていて、新材料で何が問題になるかということ、坂井先生が述べられた規制と経費が高いということ。確かに規制を守っていると安心できると思いますけれども、新しい材料を使う時は規制を外れたところでやらざるを得ず、どう上手く使うかは、やってみなければ分からない。それから、あまり経費経費と言うと新しい材料が使えない。自己充填コンクリートも日本で流行らないのは、単価だけで見ると高いですね。単価が2倍するので駄目と言うけれども、ヨーロッパは皆これを使っている。総合的に考えるとそれを使った方が、施工不良がほとんど起こらないし、誰でもできるし、トータルで安くなる。規制で新しい材料を使わないというのではなく、是非積極的に使ってみる方向に行っていきたいです。それから経費については、今まで公共事業が叩かれすぎていてまずいなと思っているのですけれども、やっぱりそこそこ利益が上がるようにして新しい試みができるようにしないと駄目だと思います。是非、今日おられる方々、発注者側も含めて、そういう心を少し持って頂きたいです。後は一般の社会の方々に少し認めて貰うということが重要です。もっと上手くPRしないといけないと思います。工事費があまりに安ければ、安かろう悪かろうですよ、ということを理解してもらう必要があります。

【モデレーター：西崎上席研究員】

ありがとうございました。コストの件についてはですね、会場から頂いたアンケートの中でも、1番多く指摘を頂いておりまして、例えばご紹介しますと、「初期投資額（材料コスト、施工コスト等）とメ

メンテナンスコストのバランスの「考え方」についての議論が必要ではないか。」とかですね、あるいは「長期耐久性の検証をして、ライフサイクルコストを上手に見据えた上でやるという手もあるのではないか。」そのようなご指摘もありました。

コストの件については、実際に事業者というか、実際に構造物の管理をされている紫桃様、如何でしょうか？

【パネリスト：NEXCO 総研 紫桃孝一郎氏】

標準的なものではですね、基準類の適用というものがあります。例えばNEXCOで新しいものを導入するときはどうすれば良いかという、過去に例がないような所に初めて橋を架けるとかですね、こんな条件で補修しなければいけない時は、それに合った材料とはどんな材料があるか、まずは試験施工をやってみよう、試験的にやってみて良かったら、後程どれくらいコストがかかるか、最終的にはコストも大事ですから、やってみつつ、情報を集めつつ良ければ標準化していこうというステップは、かつて道路公団で良くやった手法なんですけど、そういった手法は1つあるのかなと思います。ただ、すごく標準的な橋で厳しい条件だからって全然違う材料でやってみるというのはちょっと難しいと思う。

【モデレーター：西崎上席研究員】

もう1つ、アンケートからなのですが、丸山先生がおっしゃった、実績がない材料は、中々使って貰えない。それについてのアンケートも貰ってまして、「実績のない材料を積極的に使用していくのが必要だと思う。」そういう意見もありました。やはり使う方からすると難しいのかなという気がするのですが、では、どういうときに使ったら良いのでしょうか。

【パネリスト：NEXCO 総研 紫桃孝一郎氏】

これも道路公団での経験ですが、本当に良いものは実物で使って、全く想定していないようなことがないか確認するし、あとは、交通量の少ないところで使っていくとかですね、そういうことも含めて総合的な判断をすると。あと管理の方からすると規制時間を短縮する、短くする、というのが第一に大事なので、そういったところで実験をしながら使っていく、など、色々なことでやる余地はあると思います。

【モデレーター：西崎上席研究員】

ありがとうございます。この件に関しまして、他の方、如何でしょうか？

【パネリスト：東京工業大学 坂井悦郎教授】

セメント系の材料の議論からいくと、建築の問題なのです。土木の方は比較的新しいものを使うという意識は、自分はあると思います。ですが、建築系は建築基準法との関係があるとすると、セメント会社としたら8割～7割が動いていないと生きていけないと思うのです。その辺が1番問題なのかな

というのが、新設については

【パネリスト：鹿島建設 坂田昇氏】

コストの話なのですが、高いものは使われないですので、今、丸山先生からありましたけれどもヨーロッパではこういうコンクリートがよく使われているにもかかわらず、日本では1%も使用されていない。その違いは、本当に使わないと駄目だよ、それしか使わない、と言うような例えばそういう法律や基準があるか否かということも一つの理由だと思います。今、日本では人がどんどん減っています。建設業に入ってくる人も少ないし、作業員も減っている、このことが一番懸念されていることで、建設現場では65や70歳近い人が鉄筋を組み立てたり型枠を組み立てたり、そういう人たちがいなくなると、結局はどうなるかと言うと、若い人はクーラーの効いているところへ、というようになってくると、当然自動化が必要になってくる。そうするとプレキャスト化が一つの対応策ですが、現状ではプレキャストによって必ず高くなる。そこを、何かを変えていかないと、そこで、釣り合ったところであるのでしようけれども、待っているとその時にその技術が発達しないので、破綻をしてしまうような気がします。我が社の幹部の方が言うのですが、安全、安全とよく言うけれど、現状は精神論に近く、それでは絶対に事故は減らない。必ず事故は起こる。いくら安全帯を使ったとしても現場の中の危ないところに人が居るわけです。それが、オートメーション化すれば、安全も自動的に確保されるということで、品質も安全もそういうものも含めて、そういうやり方や材料も含めて考えていかないと、結局コストが高いうちから使われないという論理になり、必ずそこで止まってしまって前に進めないのかなという気がしております。

【パネリスト：NIMS 土谷浩一氏】

僕なんか門外漢ですのでご容赦下さい。羽田のD滑走路というものがあまして、そこは入札の時に確か30年先のメンテナンスコストも一緒に入れろということで、多数に光ファイバーになっていたり、岸壁みたいな所には繊維補強コンクリートを使ったり、栈橋の橋脚にはステンレスが、床版の裏の海面に対するところにはチタンが貼ってあるんですね。とんでもない高級な材料をいっぱい使っているんですね。それはメンテナンスのコストを考えると安いということになったわけで、時の小泉首相は一括してやらせたということですが、安くてあまり良くないものを造るのでは駄目だよ、という社会的合意の形成というのですかね、そういうものが何とかできればですね、材料としては良いものが色々できてはいるはずですので、使われるべきものは使われるようになるのではないかと。アメリカの話ですと、バージニア州では煙害があり、非常に耐食性の高い鉄筋、例えばステンレスを使ったり、使えということになっているらしいですね。中々日本ではそれが難しいというのが残念で、そういうものが使えるようにしたいと思います。

それから1つだけ、紫桃様のスライドで、非常に大事だと思ったのは、8番目のスライドですが、土木技術者の新材料への対応と書かれています。鉄鋼やコンクリート以外の材料に対する知識・経験、ということがありますけれども、人材育成と言いますか、土木関係の方にも是非色々なことを知って頂く、勉強する場があると良いのかなと思います。

手前味噌になると良くないのですが、SIPの関係で、色々人材遺産、プログラムをですね、8月にサマースクール的なものをですね、多くの関係者・材料関係者に開催を計画しておりますので、皆さんに聞いて頂いて、そういった活動もやっていったらと考えております。すみません、宣伝になりました。

【モデレーター：西崎上席研究員】

アンケートから、「適切な性能評価って実験の方法などを定めることが必要ということで、新しい材料・先端的材料の物性がどうなっているかということ、土木技術者としてきちんと理解することが必要ではないですか。」というご指摘がありました。まさにその通りだなと思います。

どういう風にやっていくことが必要、重要なのかなと思いますが、もう1つ、これもアンケートからの指摘で、「やはり安心して使うためには、最終的には規準類といったものの整備が必要になってくるのではないかと。」と思うのですが、そのあたり、どなたか如何でしょうか。

【パネリスト：渡辺材料資源研究グループ長】

最初はいきなり基準化というのは、出てきたばかりのときは難しいと思います。それが少しずつ普及していくにつれて、使う人が増えていくにつれて、標準化みたいな形になると思うのですが、それをすることによって、一層普及にはずみをつけて皆で使っていくようにしようと、そういう基準化というのは皆が安心して使っていく上での重要なプロセスだと思います。ただ、先の話にかかってしまうと思いますが、安心して使えるような基準類や規格類を整備するということは、やはりパイロット的に使って、そのときの反省をフィードバックしていかないと、ただ単に基準類を性急に作るという話があったのですけれども、基準ばかり言っているのではないかとこの話もあつたのですけれども。一番重要なのは、やってみて、その知見をフィードバックして、それを活かした基準というのがやはり一番必要なのではないかなと私は思っております。

新材料の課題、展望

- 材料物性
 - 強度、弾性係数、破壊形態、温度依存性
 - 鋼材、コンクリートとの物性の相違
- 既設部材との一体化
 - 接着強度、下地処理、品質管理など
- 耐久性
 - 設計耐用期間の設定
 - 使用期間中の負荷
- コスト
- 土木技術者の新材料への対応
 - 鋼、コンクリート以外の材料に対する知識・経験
 - 材料特性を踏まえた使い方、品質管理、補修後の管理等

NEXCO総研

8

株式会社高速道路総合技術研究所
Nippon Expressway Research Institute, Co., Ltd.

【パネリスト：鹿島建設 坂田昇氏】

基準の話ですが、イニシャルの性能と耐久性という話がありますが、イニシャルの性能は簡単に決められると思いますが、耐久性については促進試験などでやらなくてはいけなくて、またやったとしてもそれが本当なの、というのが最も大きな課題であり、だから現状は10年や20年と暴露試験をして性能はOK、だから良いですね、という流れになっていると思います。ただ、非常に時間が掛かるため新たに開発した材料をすぐに適確に評価できないため、短時間で適確な評価ができる試験方法の確立や試験方法自体の技術開発が必要であり、そういうものが無いとなかなか、誰がその責任を取るの、ということもあるのかなという気がします。

【モデレーター：西崎上席研究員】

ありがとうございます。

アンケートの中には、その辺、iMaRRC、先端材料資源研究センターに期待すること、ということで、書いて頂いているのがありますが、時間もあと5分程度と迫ってきておりますので、もう1つの話題ということで、アンケートで使っている「先端材料資源研究センターに期待すること」ということで進めたいと思います。1番多いものとしましては、「様々な分野との情報交換、情報発信、共同研究を進めて欲しい。」という意見がございました。ということなのですが、その辺り、渡辺グループ長から如何ですか。

【パネリスト：渡辺材料資源研究グループ長】

それは重々考えていかなければならないなと思っております。どうしても頭が固くなるとろくな研究ができないというのがありまして、色々なバックボーンを持っておられる方と一緒にやっていくことが一番重要で、そういう全然価値観が違ふと言ったら、良い意味で価値観が違ふ人とディスカッションするというのは非常に新鮮で、とても楽しいと思います。そうしたところを是非、上手く前進する力に結びつけていけるのではないかなと、いかなければいけないなと思います。

【パネリスト：長岡技術科学大学 丸山久一名誉教授】

ずっと昔から異業種交流の重要性が指摘され、実施されてきています。ただ、見知らぬ人々の中に行きにくいということもあるので、この場で言って良いか分かりませんが、あまり生真面目にやり過ぎると集まって来ないと思います。懇親会などがあって自分の殻を解き放てる場所を作ることが重要です。上司は何を考えているか分からんということだと、言いたいことが言えない雰囲気になります。共通の趣味が1つでもあると飲み会でもなんとか話ができて、そこからコミュニケーションがずっと広がります。真面目にやり過ぎるとたぶん駄目ではないかと思います。あそこに行くと楽しいこともあるな、とそういう風なものを是非作って頂くのが良いと思います。まあ理事長はそういうことを良く分かっていると思うので、是非このセンターは今ご意見があった通り私も全くその通りだと思うので、異業種交流で、現場に行って色々なものを見るとかですね、他の分野の人と合うとかですね、そういうことを是非やる

ようにしてください。その時に、時間的にも経費的にも多少ゆとりを持たせる。そうすると参加者は増えると思いますよ。

【パネリスト：NIMS 土谷浩一氏】

是非誘って下さい。アメリカの IBM のある研究所ではですね、あまり詳しいことは忘れちゃけれども、バイオナノテクノロジーをやろうと。バイオはもうやっているのですね。ナノテクノロジーの研究者も同じ。バイオナノテクノロジーをやるにはどうしたら良いか。彼らは、バイオの研究者が3階にいて、ナノテクノロジーの研究者は5階にいて、4階にコーヒーを飲む場所を作っただけなんです。そこで皆何となくコーヒー飲みながら雑談が始まるのですね。そういう雰囲気を持つ場所を持つことも大事だと思います。

異分野、異業種交流で、最近思ったのは土木学会というのは、これ自体がかなり異分野だというのが分かって、我々材料との異分野交流をやる。これは中々面白いかなと。土木の中の材料で、我々物材とは少し違う。考え方が違うと思いました。その間の交流というのは非常に面白いものが出てくる、出てきそうだという予感があるのと、1つ問題はですね、言葉の壁というのがありますね。分からない言葉は調べれば良いのですよ。1番危ないのは同じ事を違っている意味に使っている場合があることですね。これは非常に話が通じなくなる理由になりますので、そこを少し気をつけながら、とにかく会話をたくさんするのが大事かなと思います。

【モデレーター：西崎上席研究員】

ありがとうございました。他にパネリストの方如何ですか？紫桃様。

【パネリスト：NEXCO 総研 紫桃孝一郎氏】

色々な方とお話しするのはとっても良いと思います。あと、個人的には現場を見るのが大事かなと思います。現場にものすごく情報がありますので、本当に事件は会議室ではなく現場で起こっているという事で。本当に何をやっているのかな、ということも大事だと思います。

【モデレーター：西崎上席研究員】

ありがとうございました。

それでは、当初予定しており時間が、ちょうど来たところでございます。予定の時間となりましたので、たけなわではございますが、どうもありがとうございました。ここで終わらせて頂きますが、今、ありましたように、色々な試験機関と情報共有、技術交流を行っていきたいと思っております。ご期待頂いた活動を今後も行って参りたいと思っておりますので、今後ともどうぞよろしくお願いいたします。

では、これでディスカッションを終わりにしたいと思います。

4. アンケート集計結果

講演会当日、来場者を対象としてアンケートを行った。アンケートでは、来場者の職種と講演内容に関することや要望などのご意見・ご感想を質問したが、以下の意見が寄せられた。

4.1 回答者の所属

- (1) ゼネコン・建設会社・・・9名
- (2) 材料メーカー・・・5名
- (3) 社団・財団法人・・・5名
- (4) 国の機関・・・4名
- (5) コンサルタント・・・3名
- (6) その他・・・3名
- (7) 高速道路会社・・・2名
- (8) 教育機関・・・2名
- (9) 地方公共団体・・・1名
- (10) 不明・・・1名

4.2 iMaRRC に期待すること

(1) 中心的・中立的な機関としての活動を期待する声（6件）

- ・浮世離れしがちな研究機関（例えば大学）やシーズ領域から抜け出せない研究機関、商売先行で技術開発をしてしまう研究機関などが混在する中で、ニュートラルな立ち位置で材料研究の中核として発展して頂けることを期待しています。
- ・土木のこと、他産業のこと、日本全体で悩んでいること、地方が抱えているニーズなど、貴センターが集約し、ハブになってくれることを望んでいます。
- ・研究所なんだから、失敗してもいいし、iMaRRC だからがちんこで新技術、新材料を実暴露で比較できる国内唯一の機関という立ち位置もあるかもしれませんね。
- ・土木材料のトップ機関としての今後のiMaRRCのご活躍を期待しております。
- ・土木材料分野の中核センターとして、幅広い機関との連携に期待します。
- ・この度はiMaRRCの開所おめでとうございます。今後も土木材料分野での指導力を発揮してください。

(2) 新材料の現場採用の推進活動を期待する声（5件）

- ・新材料、新技術を採用するための新たな評価基準（単なる現時点の建設費比較、材料費比較でない）を設ける必要がある。
→高パフォーマンス材料の使用を前提とした構造・設計の採用
- ・新材料への取り組みについて、再認識すると共に、良いもので高いものを使うことも辞さない姿勢とい

う方向性が見えて頼もしく思います。是非、地方自治体へも浸透できるように、国で牽引して頂ければと期待します。

- ・良い材料・工法を開発しても発注者に説明（営業）するのに、労働力が甚大である。iMaRRCは新技術的工法の、特に発注者への拡大活動も実施できないか？計画中とのこと？是非早期の実践と拡大を望む。
- ・何人もの方が、"コンクリートと鋼のみ"と言われた世界で、新材料（是非前向きに！）の活用は、その材料に合わせた性能規定型基準が重要と思われた。性能規定型基準について、例えば新材料、新方式を使う医療機器では、どういう風に新しい材料の評価の基準を作っているかは参考になりませんか？
- ・調査・診断会社ですが、補修材料の適用についても地域や気象条件により異なる。規準化する場合には規制にならないような提案が必要と思われる。今後の活躍に期待しています。

(3) 検査・モニタリング技術の導入に期待する声（2件）

- ・ 1. 画像センシング技術の導入 2. 近赤外線技術の導入 3. 測位技術の導入 などの測量分野の技術導入が維持管理技術や材料評価技術の高度化、効率化に繋がる。これらの積極的な活動に期待します。
- ・ 検査、評価技術と新材料技術の研究が重要。

(4) 若手技術者の育成を期待する声（2件）

- ・ 若手研究者、若手技術者の育成についても取り組んで頂ければ。
- ・ 専門とする若手を長期に当てる（育てる）ことも重要。

(5) 大企業やベンチャー企業との連携推進に期待する声（1件）

- ・ 大企業メーカーとベンチャー企業との共同事業をもっと進めて頂き、ベンチャー企業の研究レベルをベンチマークに資する、実験棟やスペースを提供して、大企業の技術スタッフと共同で新技術を土木研究所に提案するような、もっと活発な研究のための投資を進めて欲しい。

(6) 国民からニーズを募集しての活動を期待する声（1件）

- ・ iMaRRCで「実施して欲しい実験等」を国民から出して貰ったらどうか？
Ex. 「このような実験はできないのか？」や「このような製品（材料）はできないのか？」等、一般公募するのも国の機関の役目だと思われる。

(7) 積極的な情報発信を期待する声（1件）

- ・ 積極的な情報発信をお願いします（誰をターゲットにどのような活動をしようとしているのか等）。

4.3 設立記念講演会で良かったこと

(1) 全体的な好意的感想（18件）

- ・ 最新の材料開発の概要、動向が分かって有意義だった。

- ・本当にすばらしい事である
- ・新材料を土木分野に導入するのを妨げるハザード（規格、費用）がよく分かった。
- ・大変有意義な、貴重な時間でした。
- ・良かったです。
- ・丸山先生がこれまでの研究で得られた知見や思いを伺うことができ、大変おもしろかった。これから求められる分野の話もあり、研究者の1人として参考になった。
- ・普段聞けないような内容があり興味深く聞かせて頂きました。
- ・最新の土木材料、大変参考になりました。
- ・土木構造物の耐性向上に向けた技術開発・研究、大変勉強になりました。
- ・パネルディスカッションは話題が多く、興味深く聞いた。
- ・材料の話題と施工の話題が Mix した内容が面白かった。
- ・コストは長期的視点で、安全とのバランス、に話が及んだのは良かった。
- ・大変勉強させて頂きました。ありがとうございました。
- ・大変有意義なPDでした。
- ・様々な方の貴重なお話が聞けて大変勉強になりました。本日の講演等で聞いたことを参考にしていきたいと思います。
- ・大変面白かった。
- ・時間、内容ともにとっても参考になりました。
- ・非常に良かった。

(2) 他分野（JAXA）の情報提供に関する好意的感想（8件）

- ・JAXA の講演が興味深かった。一見異業種の分野に研究開発のヒントがあると思うので、こういう講座は良いと思う。
- ・他分野（JAXA）の講演は特に興味深いものだった。
- ・JAXA の坂下様のお話が聞けて良かったです。
- ・JAXA は日頃聞けない内容であり、他業種ではあるが興味深かった。
- ・坂下さんの話、普段なかなか聞けない内容でおもしろかった。
- ・JAXA の比較説明が分かり易い。
- ・中々ヴァリエティに富んだ興味深い講演会。面白さから言えばやはり JAXA で、宇宙機器用材料開発は土木はじめあらゆる産業に通じると思われた。
- ・今回のように異分野で建設材料に関わっている方との交流の機会を持ちたい。

(3) フランスの情報提供に関する好意的感想（2件）

- ・フランスの研究事例について情報収集できてよかった
- ・ハブティー氏の講演では、フランスの幅広い分野の横断的な研究の話題がおもしろかった。

4.4 講演会に対する意見・要望

(1) 土木研究所の研究成果に関する講演プログラムを求める声 (3件)

- ・土木研究所の研究成果に関する報告があると良いと感じた
- ・土木分野の今後の課題 (具体的な) についての報告もあると良いと感じた。
- ・iMaRRCの研究発表と共に、それに関するディスカッションができると良いと思います。

(2) 今後も講演会の開催を求める声 (2件)

- ・今後も定期的な講習会を開催して頂ければと思います
- ・今回のような場を今後も企画して欲しい。

(3) パネルディスカッションに関する意見 (2件)

- ・パネルディスカッションの話題提供の説明、10分/人が長く、ディスカッション時間が短く感じた。
- ・パネリストにもっとしゃべってもらう時間を設けるべきでは。有識者の考えをもっと聞きたかった。

(4) その他の意見

- ・英語表記のレジュメは読み返しても理解できないので、日本語で書いて欲しい。
- ・先端材料資源研究センターとNIMSのすみ分けがよく見えない。

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No. 4316 January 2016

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754

